

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

BALIKÇILIK TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**İSTANBUL BOĞAZI'NDA TANKER KAZALARI İLE OLUŞABİLECEK
PETROL DAĞILIMININ SİMÜLASYONU**

Bal. Tek. Yük. Müh. Ersan BAŞAR

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Doktor”
Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14.11.2003
Tezin Savunma Tarihi : 15.12.2003**

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ercan KÖSE
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ertuğrul DOĞAN
Jüri Üyesi : Doç. Dr. Muhammet BORAN
Jüri Üyesi : Doç. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. A. Muzaffer FEYZİOĞLU

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Yusuf AYVAZ

Trabzon 2003

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

Artan deniz taşımacılığına paralel olarak gemilerden kaynaklanan deniz kirliliği artmaktadır. Orta Asya petrollerinin boru hatlarıyla Karadeniz'e getirilip buradan Türk Boğazları kullanılarak tankerler aracılığıyla taşınması sonucunda İstanbul Boğazı olmak üzere denizleri tehdit altına almaktadır. İstanbul Boğazı coğrafi yapısı gereği dar ve seyri zor olan bir su yoludur. Bu su yolu artan gemi trafiğine karşın gemi kazaları riskine açık bir bölgedir. Tanker kazaları sonrasında oluşacak olan petrol dağılımını bilmek zararın en aza indirilmesi için önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada, İstanbul Boğazı'nın akıntı modeli Princeton Ocean Model (POM) kullanılarak çıkarılmış daha sonra General NOAA Oil Modeling Environment (GNOME™) modeli kullanılarak petrol dağılımlarının zamansal ve alansal dağılımı bulunmuştur. Risk altındaki bölgeler tespit edilmiştir.

Doktora tez danışmanlığımı üstlenerek, çalışmaların yürütülmesi sırasında ilgisini esirgemeyen Sayın Hocam Yrd.Doç.Dr. Ercan KÖSE'ye, İstanbul Boğazı akıntı verilerini kullanmamı sağlayan Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı'na, haritaların sayısallaştırılmasında Arş.Gör. Abdulaziz GÜNEROĞLU'na ve tez çalışmamda yardımları olan Arş.Gör.Dr. Nüket SİVRİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Ersan BAŞAR

Trabzon, 2003

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
TABLolar DİZİNİ	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. İstanbul Boğazı'nın Genel Özellikleri	3
1.2.1. İstanbul Boğazı'nın Konumu	3
1.2.2. İstanbul Boğazı'nın İklim Özellikleri	4
1.2.3. İstanbul Boğazı'ndaki Akıntı ve Tuzluluk	6
1.2.4. İstanbul Boğazı'nın Biyolojik Yapısı	11
1.2.4.1. TBS'in Ekolojik Karakteristiği	11
1.3. İstanbul Boğazı'ndaki Kirlilik	15
1.3.1. İstanbul Boğazı'ndaki Petrol Kirliliği	16
1.4. İstanbul Boğazı'ndaki Deniz Trafiki	18
1.4.1. İstanbul Boğazı'ndaki Hidrografik Koşulların Seyire Etkisi	18
1.4.2. İstanbul Boğazı'ndaki Gemi Geçişlerinin Sınıflandırılması	24
1.5. İstanbul Boğazı'ndaki Tanker Kazaları	30
1.5.1. Kazaların Meydana Geldiği Bölgeler	32
1.5.1.1. Çatışmaların Bölgelere Göre Dağılımı	32
1.5.1.2. Karaya Oturmaların Bölgelere Göre Dağılımı	33
1.5.1.3. Karaya Çarpma Olaylarının Bölgelere Göre Dağılımı	34
1.6. Araştırmanın Amacı ve Önemi	35
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	38
2.1. Princeton Okyanus Modeli (POM)	38
2.1.1. Temel Eşitlikler	40

2.1.1.1.	Smagorinsky Difüzyonitesi	43
2.1.1.2.	Düşey Sınır Koşulları	43
2.1.1.3.	Düşeyde Entegre Edilen Eşitlikler	44
2.1.2.	Fortran Sembolleri	46
2.1.3.	Internal Mod Hesaplanmasının Yapısı	50
2.1.3.1.	Grid Düzenlenmesi	51
2.1.3.2.	Zaman Adım Sınırlamaları	53
2.2.	Taban Topografyası	54
2.3.	NOAA Genel Petrol Çevre Modeli (GNOME™)	55
2.3.1.	İstanbul Boğazı'nın Sayısal Haritası	55
2.3.2.	Akıntı Verilerinin Simülasyonda Çalıştırılması	56
3.	BULGULAR	59
3.1.	Olası Kaza Bölgeleri	59
3.2.	Rüzgar Yönleri ve Şiddetleri	60
3.3.	Boğaz Kuzey Girişi 1 Nolu Dağılım Senaryosu	61
3.3.1.	Rüzgar Şiddeti 3 knot	61
3.3.1.1.	Rüzgar Kuzey Doğu Yönünden	61
3.3.1.2.	Rüzgar Kuzey Batı Yönünden	62
3.3.1.3.	Rüzgar Güney Doğu Yönünden	63
3.3.2.	Rüzgar Şiddeti 15 knot	64
3.3.2.1.	Rüzgar Kuzey Doğu Yönünden	64
3.3.2.3.	Rüzgar Kuzey Batı Yönünden	65
3.3.2.3.	Rüzgar Güney Doğu Yönünden	66
3.4.	Büyükdere Dönüşü 2 Nolu Dağılım Senaryosu	67
3.4.1.	Rüzgar Şiddeti 3 knot	68
3.4.1.1.	Rüzgar Kuzey Doğu Yönünden	68
3.4.1.2.	Rüzgar Kuzey Batı Yönünden	69
3.4.1.3.	Rüzgar Güney Doğu Yönünden	70
3.4.2.	Rüzgar Şiddeti 15 knot	71
3.4.2.1.	Rüzgar Kuzey Doğu Yönünden	71
3.4.2.2.	Rüzgar Kuzey Batı Yönünden	72
3.4.2.3.	Rüzgar Güney Batı Yönünden	73
3.5.	Kandilli Dönüşü 3 Nolu Dağılım Senaryosu	74

3.5.1.	Rüzgar Şiddeti 3 knot	74
3.5.1.1.	Rüzgar Kuzey Doğu Yönünden	74
3.5.1.2.	Rüzgar Kuzey Batı Yönünden	75
3.5.1.3.	Rüzgar Güney Batı Yönünden	76
3.5.2.	Rüzgar Şiddeti 15 knot	77
3.5.2.1.	Rüzgar Kuzey Doğu Yönünden	77
3.5.2.2.	Rüzgar Kuzey Batı Yönünden	78
3.5.2.3.	Rüzgar Güney Doğu Yönünden	79
3.6.	Dolmabahçe Önleri 4 Nolu Dağılım Senaryosu	80
3.6.1.	Rüzgar Şiddeti 3 knot	81
3.6.1.1.	Rüzgar Kuzey Doğu Yönünden	81
3.6.1.2.	Rüzgar Kuzey Batı Yönünden	82
3.6.1.3.	Rüzgar Güney Doğu Yönünden	83
3.6.2.	Rüzgar Şiddeti 15 knot	84
3.6.2.1.	Rüzgar Kuzey Doğu Yönünden	84
3.6.2.2.	Rüzgar Kuzey Batı Yönünden	85
3.6.2.3.	Rüzgar Güney Doğu Yönünden	86
4.	İRDELEME	86
5.	SONUÇLAR	94
6.	ÖNERİLER	98
7.	KAYNAKLAR	100
	ÖZGEÇMİŞ	107

ÖZET

Denizel ekosistemlerde canlı ve cansız ögeler açısından en büyük tehditlerden birini oluşturan kirlilik çeşidi de petrol kirliliğidir. Deniz yüzeyinde bile etkisi en uzun süren ve denizel canlıların ölümü ile sonlanan bu tehdit, her geçen gün artan tanker trafiği ile önemini ortaya koymaktadır. Karadeniz'in okyanuslara açılan tek kapısı olan İstanbul Boğazı'nda artan tanker trafiği, kaza risklerini de beraberinde getirmektedir. Oluşabilecek bir kazada uygun ve hızlı müdahale edilemediği takdirde petrol kirliliği İstanbul Boğazı ekosistemini olumsuz yönde etkileyecektir.

Bu çalışmada, İstanbul Boğazı'nda meydana gelebilecek tanker kazaları sonrası oluşacak petrolün dağılım simülasyonu yapılmıştır. Simülasyonun çalıştırılmasında en önemli çevresel etkilerden biri olan akıntı "Princeton Ocean Model" (POM) kullanılarak modellenmiştir. Elde edilen bu akıntı verileri petrol dağılım modeli olan "General NOAA Oil Modeling Environment" (GNOME™) benzetim modelinin akıntı veri tabanını oluşturmuştur. Akıntı verileri GNOME™'da çalıştırılarak İstanbul Boğazı'nda istatistiki olarak gemi kazalarının yoğun olduğu 4 koordinata uygulanmıştır. Simülasyon çalıştırılırken, Boğaz'daki hakim rüzgarlarda, düşük ve yüksek hızlarda senaryolar üretilmiştir. Petrol yayılımının zamansal dağılımını tespit etmek içinde 10, 20, 40 ve 60. dakikalar için senaryolar çalıştırılarak risk altındaki kıyı alanları belirlenmiştir. Simülasyonun planlanmasında her bir kazada 1000 metrik ton ham petrolün denize dökülmesi üzerine senaryo oluşturulmuştur.

Simülasyonların çalıştırılması sonucunda petrol yayılımının kontrol altına alınabilmesi için müdahale alanları tespit edilmiştir. Anadolukavağı, Tarabya, Çengelköy ve Sarayburnu kıyıları yoğun olarak risk altında olan bölgeler olarak belirlenmiştir. Bu bölgelerde yapılacak olan erken müdahalelerin oluşabilecek petrol dağılımını en aza indireceği görülmüştür. Bu simülasyon çalışması ile, ileride olabilecek tanker kazaları sonrasında o bölgedeki rüzgar yön ve şiddeti girilmek suretiyle dağılan petrol miktarının zamansal ve alansal dağılımı bulunabilecektir.

Anahtar Kelimeler: İstanbul Boğazı, Petrol Dağılımı, Simülasyon, Tanker Kazası, POM, GNOME, Model, Risk Analizi.

SUMMARY

Simulation of Oil Spill after Tanker Accident at İstanbul Strait

The most important threat for marine ecosystem is oil pollution. This threat, effects even sea surface for a long time and results killing of marine animals, shows the importance of ever increasing tanker traffics. This increment brings more risks at tanker traffic at Istanbul Strait.

After an accident, not having appropriate and fast action would negatively affect the marine ecosystem.

In this study, simulation of oil distribution after tanker accident was done. Current is one of the most important effect of oil spill was modeled by using Princeton Ocean Model (POM). Results from this model were used as current data base for General NOAA Oil Modeling Environment (GNOMETM). Then, GNOME was run for 4 stations where statistically most accidents area.

In all these simulations, at the beginning of each simulation 1000 metric tones of oil discharges at sea. Low (3 knot) and high (15 knot) wind speeds were used. And also time distribution of oil model was run 10, 20, 40 and 60 minutes. Than these areas were identified as a risk.

With this model, amount of oil and its temporal and spatial distribution can be found by entering wind speed and directions at any area in Istanbul Strait.

As a result of simulations, most effective areas for preventive action for oil spill were found. Anadolukavağı, Tarabya, Çengelköy and Sarayburnu were identified to be under more risks. Early action after accidents would decrease the oil distribution to minimum from these areas.

Key Words: İstanbul Strait, Oil Spill, Simulation, Tanker Accident, POM, GNOME, Model, Risk Analysis.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	İstanbul Boğazı'nın uydu görüntüsü	4
Şekil 2.	İstanbul Boğazı boyunca 20 ppt ve 30 ppt tuzluluk ara yüzey değişimi	8
Şekil 3.	İstanbul Boğazı'ndaki eşik kesit	9
Şekil 4.	İstanbul Boğazı'ndaki yüzey ve alt su akıntısı	10
Şekil 5.	Yeniköy'deki akıntının keskin dönüşe etkisi	22
Şekil 6.	Yeniköy keskin dönüşü sonrası, akıntıya karşı dümen etkisi	23
Şekil 7.	Kandilli dönüşü ve akıntı etkisi	23
Şekil 8.	Karadeniz'den taşınan petrol yollar	27
Şekil 9.	M/T Independanta yanarken (a) ve söndürme çalışmaları (b) sürerken	31
Şekil 10.	İstanbul Boğazı'ndaki çatışmaların dağılımı	33
Şekil 11.	İstanbul Boğazı'ndaki karaya oturmanın dağılımı	34
Şekil 12.	İstanbul Boğazı'nda karaya çarpmaların dağılımı	35
Şekil 13.	Sigma koordinat sistemi	40
Şekil 14.	Programın akış diyagramı	49
Şekil 15.	External ve internal modun etkileşiminin basitleştirilmiş gösterimi	50
Şekil 16.	İki boyutlu external mod gridi	52
Şekil 17.	Üç boyutlu internal mod gridi (Q ifadesi KM, KH, Q2 veya Q2L büyüklüklerini temsil etmektedir, T ifadesi ise T, S veya RHO'yu temsil etmektedir)	53
Şekil 18.	İstanbul Boğazı'nın sayısal haritası	56
Şekil 19.	Akıntı modeli (rüzgar 0 knot)	58
Şekil 20.	Simülasyonun çalıştırıldığı kaza alanları	60
Şekil 21.	Rüzgar yönleri	61
Şekil 22.	KD 3 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 1 nolu simülasyon	62
Şekil 23.	KB 3 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 1 nolu simülasyon	63

Şekil 24.	GD 3 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 1 nolu simülasyon	64
Şekil 25.	KD 15 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 1 nolu simülasyon	65
Şekil 26.	KB 15 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 1 nolu simülasyon	66
Şekil 27.	GD 15 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 1 nolu simülasyon	67
Şekil 28.	KD 3 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 2 nolu simülasyon	68
Şekil 29.	KB 3 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 2 nolu simülasyon	69
Şekil 30.	GD 3 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 2 nolu simülasyon	70
Şekil 31.	KD 15 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 2 nolu simülasyon	71
Şekil 32.	KB 15 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 2 nolu simülasyon	72
Şekil 33.	GB 15 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 2 nolu simülasyon	73
Şekil 34.	KD 3 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 3 nolu simülasyon	75
Şekil 35.	KB 3 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 3 nolu simülasyon	76
Şekil 36.	GB 3 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 3 nolu simülasyon	77
Şekil 37.	KD 15 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 3 nolu simülasyon	78
Şekil 38.	KB 15 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 3 nolu simülasyon	79
Şekil 39.	GD 15 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 3 nolu simülasyon	80
Şekil 40.	KD 3 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 4 nolu simülasyon	81
Şekil 41.	KB 3 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 4 nolu simülasyon	82
Şekil 42.	GD 3 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 4 nolu simülasyon	83
Şekil 43.	KD 15 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 4 nolu simülasyon	84

Şekil 44.	KB 15 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 4 nolu simülasyon	85
Şekil 45.	GD 15 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 4 nolu simülasyon	86



TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. İstanbul Boğazı boyunca rüzgar-üst akıntı ilişkisi	6
Tablo 2. İstanbul Boğazı'nda karaya vuran yunusların yıllara göre dağılımı	13
Tablo 3. Türk Boğazları'ndan geçen deniz kuşlarının göçleri	14
Tablo 4. Kanalin fiziksel özelliklerinin gemi kaza ile ilişkisi	21
Tablo 5. İstanbul Boğazı'ndan TUBRAP öncesi geçiş yapan gemilerin dağılımı	25
Tablo 6. İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan gemilerin dağılımı	26
Tablo 7. Türk Boğaz'larını 2000 yılında kullanan gemilerin bayrak dağılımı	27
Tablo 8. İstanbul Boğazı'ndan 2000 yılı içerisinde geçen gemiler	28
Tablo 9. İstanbul Boğazı'ndan 2001 yılında geçiş yapan gemiler	29
Tablo 10. İstanbul Boğazı'ndan 2002 yılında geçiş yapan gemiler	29
Tablo 11. İstanbul Boğazı'nda meydana gelen kazaların oluş biçimlerine göre analizi	30
Tablo 12. TBS de 1964-2002 yılları arası olan tanker kazaları	32
Tablo 13. Modelde kullanılan FORTRAN sembolleri	47
Tablo 14. İstanbul Boğazı'nın koordinatları	55
Tablo 15. İstanbul Boğazı'nın akıntı formatı	57
Tablo 16. Simülasyonun çalıştırıldığı koordinatlar	59

SEMBOLLER DİZİNİ

CFL	Courant – Friedrichs – Levy hesaplama kararlılık koşulu
DWT	Dead Weight Tons
DM	Deniz Mili
GB	Güney Batı
GNOME™	General NOAA Oil Modeling Environment
GT	Gross Tonnage
IMO	Uluslararası Denizcilik Örgütü International Maritime Organization
KB	Kuzey Batı
KD	Kuzey Doğu
MARPOL	The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
NOAA	National Oceanography and Atmospheric Administration
POM	Princeton Okyanus Modeli
TBS	Türk Boğazlar Sistemi
TBT	Tributyltin
TSR	Turkish Straits Region
TSS	Turkish Straits Schema
TUBRAP	Türk Boğazlar Rapor Sistemi
SHOD	Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi
SP	Seyir Planı
VTs	Vessel Traffic System

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yeryüzünün $\frac{3}{4}$ ü denizlerle kaplı olup, tüm çevre kirliliği içinde deniz kirliliğinin payı oldukça büyüktür. Denizler besin açısından, insanoğlunun önemli besin kaynaklarından biridir. Dünya nüfusunun gitgide artması, tüketim artışını beraberinde getirmiştir. Üretilen ürünler sanayi devriminden sonra üretildiği bölgelerle sınırlı kalmayıp dünyanın her bir köşesine dağılmaya başlamıştır. Son yıllarda, dünya genelinde uluslararası ticaretin gelişmesine paralel olarak deniz taşımacılığının artması, dünya deniz ticaret filosunun hızla büyümesine neden olmuştur. Bu büyüme, dünyanın diğer önemli ve dar su yollarında olduğu gibi İstanbul Boğazı'nda da trafik yoğunluğunu artırmaktadır.

Dünyanın en önemli su yollarından biri olan İstanbul Boğazı, Karadeniz havzasının tek çıkış kapısı olarak, ilk çağlardan beri bir yandan doğu, orta ve güney Asya'dan, diğer bir yandan da Orta Avrupa ve Balkanlar'dan gelerek bu kapıda düğümlenen önemli ticaret yollarının kavşak yeri olmuştur. Bugün de İstanbul Boğazı ve çevresinin tarihi olduğu kadar fonksiyonel yapısı da devam etmektedir. UNESCO'da üç bin yıllık tarihi ile bu şehri "insanlığın ortak mirası" olarak değerlendirmiştir. İstanbul, Türkiye'nin en kalabalık şehri, en büyük limanı, en büyük endüstri yörenesi ve büyük ticaret merkezidir. Avrupa kıtasını Asya kıtasından ayıran İstanbul Boğazı, kışın Kuzey Denizi'nin donması sonucu Rusya ve Kafkas girişleri için tek yol haline getirmektedir. Karadeniz'de kıyısı bulunan bir çok ülkenin Akdeniz'e inmeleri ancak Türk Boğazları'nı kullanarak gerçekleşmektedir. Bu durum İstanbul Boğazı'nın uğraksız trafik yükünü oldukça artırmaktadır (Oğuzülgen,1994).

Türk boğazları olarak anılan Çanakkale ve İstanbul Boğazı deniz trafiği açısından başta İstanbul Boğazı olmak üzere çok yoğun bir su yoludur. İstanbul Boğazı da Dünya'daki pek çok deniz alanında olduğu gibi denizyolu ile tehlikeli madde taşımacılığından doğan yaşamsal ekolojik ve ekonomik riske maruz kalmaktadır. Ancak İstanbul Boğazı'nı Dünya'daki diğer su yollarından farklılaştıran, ait olduğu zorlu topografik, jeomorfolojik, hidrografik, oşinografik ve trafik faktörleridir (Poyraz, 1998).

Türk Boğazlar Sistemi (TBS) İstanbul Boğazı, Çanakkale Boğazı ve Marmara Denizi'nden oluşmaktadır. İstanbul Boğazı dünyanın en kalabalık su yollarından biri olup, Panama Kanalı'nın 4 katı, Süveyş Kanalı'nın ise 3 katı daha fazla trafiğe sahne olmaktadır (Göktepe, 2002).

Son yıllarda deniz taşımacılığındaki çeşitlilik de artmaktadır. Navlun ve yolcu taşımacılığı, balıkçılık gibi klasik diyebileceğimiz trafik hareketlerine ek olarak, son zamanlarda maden yataklarının bulunması veya araştırılması, yeni bulunan yada çıkarılmaya başlanan petrol gibi kaynakların pazarlara ulaştırılması veya deniz dibinden materyalin çıkarılması, kaldırılması, deniz dibinde yapılan inşaat çalışmaları, spor ve dinlenme etkinlikleri gibi amaçlarla da bu trafik sahaları kullanılmaya başlanmıştır. Bu da Türk Boğazlarına ilaveten Dover Kanalı, Cebelitarık Boğazı gibi bölgelerde trafik yoğunlaşmalarına neden olmuştur. Özellikle tehlikeli yük taşıyan gemilerin oluşturabileceği çatma ve oturma gibi kaza riskleri de bu bölgelerde önem kazanmaktadır.

İstanbul Boğazı'ndan taşınan petrol günümüzde artan bir şekilde devam etmektedir. Petrol ve petrol ürünleri taşıyan tankerlerin ölçülerinin büyümesi ve bunun sonucu olarak oluşturduğu riskler artmakta olup İstanbul Boğazı gibi tarihi özellikleri olan bu alanda kaza çevresel tehditleri artırmaktadır.

Orta Asya petrollerinin Boğazlar üzerinden taşınması düşüncesinin, trafiğe oldukça fazla yük getireceği açıktır. Orta Asya petrollerinin, boru hatları ile Gürcistan'ın Supsa ve Rusya Federasyonu'nun Novorossisk Limanları'na ulaştırılarak ve de buradan da tankerlerle Türk Boğazlarından geçerek Akdeniz'e inmesi ile boğazlardaki tanker trafiği günümüzde artmaya devam etmektedir. Petrol ve petrol ürünü taşıyan tankerlerin tonaj ile boylarının büyümesi, bunun sonucu olarak manevra kabiliyetlerinin azalması İstanbul Boğazı gibi seyrin zor olduğu yerde kaza riskini ve sonrasında oluşacak çevre ile ilgili tehditleri gündemde tutmaktadır (Plant, 2000).

Yoğun deniz trafiği, İstanbul halkının petrol ve gürültü kirliliği, stres, maddi kayıplar, kirliliğin giderilmesi için oluşan maliyetler, doğal güzelliklerin zarar görmemesi kültürel ve tarihi zenginliğin hasara uğraması gibi nedenlerle ciddi sorunlarla karşılaşmasına neden olmaktadır (Cerit, 2002).

Son yıllarda gemi kazaları ve direkt bırakma yolu ile denizlere giren petrol miktarı yılda yaklaşık 1.7 ila 8.8 milyon ton arasında olduğu tahmin edilmektedir. Bu yoğun kirlenme dünyamızın yaşanır halde kalabilmesi için kontrol altına alınması gereken önemli unsurlardan biridir (Clark, 1997).

1.2. İstanbul Boğazı'nın Genel Özellikleri

1.2.1. İstanbul Boğazı'nın Konumu

Türk Boğazlar Sistemi (TBS), değişmez coğrafi, morfolojik ve oşinografik yapısı itibari ile çok riskli bir yapıya sahip olan, 31 km uzunluğunda İstanbul Boğazı ile 70 km uzunluğunda Çanakkale Boğazı ve 224 km uzunluğunda Marmara Denizi'nden oluşmaktadır. İstanbul Boğazı Türk Boğazlar sisteminin % 10'unu oluşturmaktadır. Türk Boğazlarındaki trafik yoğunluğu her geçen yıl gittikçe artmaktadır. Montrö Sözleşmesinin imzalandığı 1936 yılında, yılda ortalama 4500 gemi geçerken, günümüzde 23000'i uğraksız olmak üzere 50000 civarında gemi geçiş yapmaktadır. Özellikle İstanbul Boğazı'nda, günde 2500 civarında, yani yılda 700000 üzerinde deniz aracı düzensiz sefer yapmakta ve günde 1 milyona yakın insan iki kıta arasında taşınmaktadır (Anonim, 2001).

İstanbul Boğazının yaklaşık 31 km'lik geçiş uzunluğunda kuzeyde 41°15'00" N ve güneyde 40°59'30" N enlemleri arasında, boylam olarak 28°57'35"E ve 29°11'00"E arasındadır. Vadi görünümlü bir su yolu olan İstanbul Boğazı'nın kıvrımlı yapısı deniz trafiğini olumsuz yönde etkilemektedir. İstanbul Boğazı kuzeyde Anadolu ve Türkeli Fenerlerini birleştiren hat ile güneyde Ahırkapı Fenerini Kadıköy İnciburnu Mendirek Fenerine birleştiren hat arasında kalan deniz alanıdır. Eni, Karadeniz girişinde 4.7 km Marmara girişinde 2.5 km kadar olup, en dar yeri ise (Kandilli-Rumelihisarı-Bebek) 700 m genişliğindedir. İstanbul Boğazı'nın uydu görüntüsü Şekil 1'de gösterilmiştir. İstanbul Boğazı genel olarak kuzey güney doğrultusunda uzanmaktadır. Boğazın orta kısımları girişlere nazaran daha kıvrımlı ve dar bir yapıya sahiptir. Boğazın temel fiziki karakteristiği bölgenin dar, dik ve derin olmasıdır. Derin su çekimi (draft) olan gemiler herhangi bir kısıtlama olmadan geçiş yapabilmektedirler. Ancak bazı vadiler ağızlarında kuvvetli akıntı sebebi ile gelişmemiş küçük deltalar veya birikinti konileri vardır (The Admiralty, 1990).

İstanbul Boğazı'nın ortalama derinliği 35.8 m olmasına karşın zaman zaman 110 m'ye varan derin çukurlar görülmektedir. Güney girişinde 3 km içeride 34 m derinlikte bir eşik bulunmaktadır. Boğazın en sığ yeri 15 m ile Üsküdar açıkları, en derin yeri ise 110 m ile Kandilli açıklarıdır. Boğaz Morfolojik yapısı itibarı ile üzerinde bir çok bank bulundurmaktadır (Degens ve Ross, 1974).



Şekil 1. İstanbul Boğazı'nın uydu görüntüsü

1.2.2. İstanbul Boğazı'nın İklim Özellikleri

İstanbul Bölgesinde, Akdeniz ve Ege'den gelen güneyli rüzgarlar ile kuzeyden ve kuzeydoğudan gelen Karadeniz rüzgarları etkin rüzgarlar olarak bilinir. Temmuz ve ağustos aylarında Kızıl Deniz'den gelen kuru sıcak hava nedeni ile meltem görülür. Bazen güneyden esen rüzgarlar bölgeye ılık ve daha çok nemli havayı taşır. Rüzgarlar yeteri kadar güçlü olduğu zaman Marmara kıyısında ve Boğaz girişinde büyük dalgalar oluştururlar. Güneyden esen rüzgarlar daha çok kışın görülür. Karadan denize doğru esen rüzgarlar fazla dalga yapmaz. Açık denizden karaya doğru esen rüzgarlar (karayel, yıldız, poyraz fırtınası) güçlü ve tehlikeli olur. Bu tip rüzgarların boğazın güney girişinde önemli etkisi görülmemektedir (Baydar, 1994). Karadeniz (413500 km^2), Marmara

(11000 km²)’dan daha büyük olmasında veya meltem rüzgarlarının güçlü olmasından dolayı tipik kara-deniz esintisi görülmektedir. Yıllık ortalama yağış miktarı 725 mm’dir ve bunun % 70’i ekim ayından mart ayına kadar olmaktadır. Uzun yıllar sıcaklık ortalaması kışın 5°C, yazın ise 25°C civarındadır. (Anonim, 1966).

Rüzgar bilindiği gibi İstanbul Boğazı’nda en etkili meteorolojik olaylardan biridir. Gemi trafiği açısından değerlendirdiğimizde, rüzgar yalnızca su üstü kesimi yüksek olan gemileri etkisi altına almayıp, aynı zamanda akıntının kuvvetli ve etkisi üzerinde doğrudan rol oynayarak bölgedeki tüm deniz trafiğini de etkisi altına almaktadır. Rüzgarlar, Boğaz içinde kıyıların saçakaltı, yani koruması nedeni ile yüksek dalgalar oluşturmazlar, ancak akıntıları güçlendirirler, özellikle boş gemilerin üst yapılarını iterek yelken etkisi oluştururlar ve gemilerin dümen dinlemesini güçleştirirler. Ayrıca rüzgarlar, kılavuz kaptanların gemilere çıkmasını engellemektedir (Güler ve Poyraz, 1997).

İstanbul Boğazı’nda ocak, şubat, mart, kasım ve aralık aylarında hakim rüzgarın yönü, kuzeyde güneyli rüzgarlarca belirleniyorsa da güneyli rüzgarların sayısal olarak fazlalığı da bilinmektedir. Rüzgar Boğaz’ın kuzeyinden kuvvetle girerken, bölgenin topografik yapısından dolayı güneyden hız kaybederek çıkmaktadır. Boğaz’da egemen rüzgarlar, kuzey, kuzey doğu, kuzey batı ve güney batı yönlerindedir (Yeniçeri, 1993).

Rüzgar yön ve şiddetine bağlı olarak İstanbul Boğazı’nda üst akıntının yön ve şiddeti incelendiğinde Karadeniz’den Marmara’ya olan üst su akışı, özellikle şiddetli poyraz ve gündeğusu rüzgarlarının varlığında, en yüksek değere ulaşmaktadır. Kuvvetli güney rüzgarlar ise üst su akıntısına yavaşlatıcı, hatta engelleyici yönde etki yapmaktadır. Örneğin, 8 Bofors şiddetindeki (14-16 m/sn) Kible veya Lodos rüzgarlarının varlığında, Karadeniz’den Marmara’ya olan üst su akışı Sarayburnu önlerinde 0.2 knot (0.1 m/sn)’a kadar azalır. Buna karşılık 6-7 şiddetindeki (10-14 m/sn) bir poyraz rüzgarı Dolmabahçe önlerinde üst akıntıyı 4.1 knot (2 m/sn)’a kadar yükseltebilmektedir. 3-4 şiddetindeki (4-8 m/sn) Lodos rüzgarının varlığında, üst su akıntısı Akıntı Burnu-Vaniköy arasında ters yönde (Karadeniz’e doğru) 0.2 m/sn hızla akmaktadır. Sürekli ve kuvvetli güneyli rüzgarların varlığında Marmara Denizi’nde su seviyesi yükseldiğinden, Karadeniz Marmara Denizi seviye farkı azalır. Bu periyotlarda Karadeniz’den Marmara Denizi’ne olan yüzey akıntısı yavaşlar, güneyli rüzgarların en şiddetli estikleri kış ve ilkbahar aylarında zaman zaman da durur, hatta tersine dönebilir. Tablo 1’de rüzgar üst akıntı ilişkisi verilmiştir (Mengöl, 1950).

Tablo 1. İstanbul Boğazı boyunca rüzgar-üst akıntı ilişkisi (Mengül, 1950).

Mevki	Rüzgarın		Üst Akıntının		Rüzgarın		Üst Akıntının	
	Yönü	Şiddeti Knot	Yönü	Şiddeti Knot	Yönü	Şiddeti Knot	Yönü	Şiddeti Knot
Rumeli Feneri Anadolu Feneri	Lodos	4	Güney	0.4	Poyraz	1	Güney	0.7
Büyükdere Umuryeri	Lodos	2	Güney	0.8	Karayel	2	Güney	1.3
Akıntı Burnu Vaniköy	Lodos	3-4	Güney	0.4	Yıldız Poyraz	4-5	Güney	2.2
Kuruçeşme Çengelköy	-	-	Güney	1.0	Yıldız Poyraz	3-4	Güney	2.4
Dolmabahçe Üsküdar	Lodos	2	Güney	1.2	Poyraz Gündoğusu	6-7	Güney	4.1
Sarayburnu Üsküdar	Kible Lodos	8	Güney	0.2	-	-	Güney	2.2

İstanbul Boğazı'nda görüş şartları, özellikle ocak, şubat ve mart aylarında 1 ila 5 gün arasında 1 km'nin altına düşer. Bu durum transit ve yerel trafiği kendi içinde ve birbiri ile ilişkili olarak olumsuz yönde etkilemektedir (The Admiralty, 1990).

Deniz seviyesindeki farklılıklar gelgit, rüzgar ve Karadeniz'in su bütçesinden kaynaklanmaktadır. Boğazın Kavak ve Çubuklu arasındaki eğimi yaklaşık olarak 9 km'de 2 cm, Çubuklu ile Üsküdar arasında ise 8 km'de 17 cm'dir. Bu eğimler ortalama 0.22 ve 2.12 cm/km olduğu görülmekte ve 31 km boğaz düşünüldüğünde ortalama 1.12 cm/km eğim olduğu bilinmektedir. Karadeniz ve Marmara Denizi arasındaki kot farkı 35 cm'dir (Möller, 1928).

Fırtına esnasında barometrik basınç değişir ve deniz seviyesinde lokal olarak basınç değişir. Birbirine uygun olmayan farklı Karadeniz'in üzerindeki hava basıncı ile Akdeniz'den gelen hava boğazda karşılaşır.

1.2.3. İstanbul Boğazı'ndaki Akıntı ve Tuzluluk

İstanbul Boğazı'ndaki alt ve üst akıntıların varlığı yüzyıllardan beri bilinmektedir. 1681 yılında Kont Marsili tarafından İsveç Kraliçesi Christina'ya gönderilen bir mektupta, İstanbul Boğazı'ndaki Karadeniz'den Marmara'ya doğru akan üst akıntının etkisi ile dipte ters yönde akan bir alt akıntı bulunması gerektiği öne sürülmüştür. Bundan sonra bu bölgede çalışmalar artmış ve 1872 yılında İngiliz Deniz Kuvvetleri'nden Amiral Wharton

müteakiben Rus Amiral Makaroff 1881 ve 1882 yıllarında akıntı ölçümleri yapmışlardır (Günnerson ve Özturgut, 1974).

1917 Eylül ve Ekim'i ile, 1918 Mayıs, Haziran ve Temmuz'unda Alfred Merz, İstanbul Boğazı'nda sistematik olarak akıntı ölçümleri yapmıştır. Merz'in 1925 yılında ölmesi üzerine çalışmaları, Lotte Möller adındaki öğrencisi tarafından tamamlanmıştır. Merz'in Eylül Ekim 1917'de İstanbul Boğazı'nda gerçekleştirdiği araştırma sonuçlarının öğrencisi Möller (1928) tarafından değerlendirilerek hazırlanmıştır.

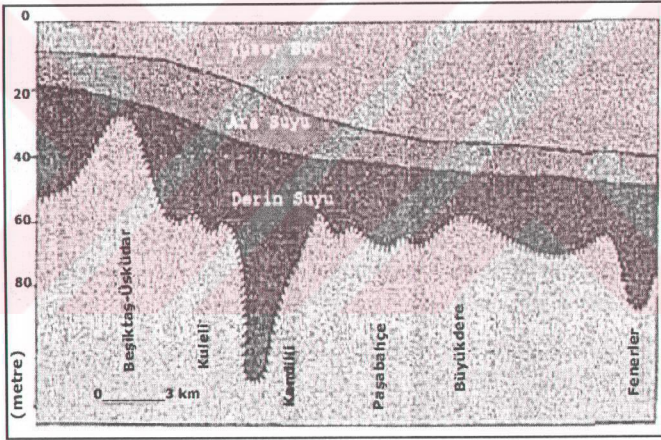
Bu çalışmalar sonucunda boğazda bir yüzey, bir de alt akıntının varlığını ve bunlardan yüzey akıntısının Karadeniz-Marmara arasında seviye farkından kaynaklandığı, dip akıntısının ise yoğunluk farkının bir sonucu olduğu ve boğaz kanalının kuzeye doğru eğimini izleyerek Rumeli ve Anadolu fenerleri önünde boğazın kuzey girişinden Karadeniz'e ulaştığı belirtilmiştir (Möller, 1928).

Ulyott ve Ilgaz (1946) İstanbul Boğazı'nda yaptıkları çalışmalarda, Karadeniz'e Akdeniz suyu girdisinin olmadığını, boğazın Karadeniz çıkışındaki eşığın, Akdeniz kökenli alt su akışının Marmara Denizi'ne geri dönmesine neden olduğunu ileri sürmüşlerdir. Ulyott ve Ilgaz'ın bu sonuçları, V.A. Vodyanitsky tarafından eleştirilmiştir. Vodyanitsky, Karadeniz'in dengeli tuzluluğunun yüzey tabakasındaki az tuzlu su çıktısının, dipteki yüksek tuzluluk girdisi ile karşılanması gerektiğini ileri sürerek Akdeniz'in yüksek tuzluluk oranına sahip dip sularının Karadeniz'e boğaz alt akıntıları ile taşındığını belirtmiştir (Yüce ve Türker, 1991). Carruthers (1963), 1963 yılında Boğazdaki su kolonundaki akıntıları ölçerek boğazın akıntı profilini çıkarmayı başarmıştır.

Alt akıntı hızı-su seviyesi farkı (Karadeniz Marmara) ilişkisinde ise, su seviyesi farkının Karadeniz aleyhine düşük olduğu değerlerde, alt akıntı hızı en düşük değerini almaktadır. Su seviyesi farkı Karadeniz lehine arttıkça, alt akıntının kuzey yönlü akışının engellendiği, hatta ters yönde giderek şiddetlendiği bilinmektedir. En yüksek alt akıntı hızına ise, su seviyesinin Karadeniz lehine en düşük olduğu ve üst akıntı hızının en az olduğu durumda erişilmektedir (Akyarlı ve Arısoy, 1994).

Marmara Denizi'ne doğru olan yüzey akıntısının rüzgarla birlikte kaynağını oluşturan Karadeniz'in lehine bu seviye farkı, Anadolu kaynaklı yüksek debili akarsular ve kış aylarındaki yoğun yağışlarla bir miktar korunmaktadır. Akdeniz'den hareketle Ege Denizi yolu ile TBS'yi izleyerek Karadeniz'e ulaşan nispeten yoğun ve ılık Akdeniz suları alt akıntı sisteminin oluşturur. Alt akıntı sisteminin en önemli dinamik etkeni,

Akdeniz - Karadeniz arasındaki yoğunluk farkı, üst akıntı için temel etken ise Karadeniz ile Marmara Denizi arasındaki su seviyesi farkıdır. Alt ve üst akıntının yoğun olarak karıştığı durumlar nadiren görülmekte olup, bu olayda en önemli dinamik etken ise Karadeniz-Marmara Denizi arasındaki su seviyesi farkıdır. Alt ve üst akıntının yoğun olarak karıştığı durumlar nadiren görülmekte olup, bu olayda en önemli unsur topografya, rüzgar ve mevsimsel değişimlerdir. İstanbul Boğazı'nın kuzey girişinde akıntı hızı hidrodinamik etkiler nedeni ile, güneye göre daha yavaştır. Bu olgu TBB'nin tamamı için geçerlidir. Başka bir değişle, boğazların kuzeyinde yüzey akıntı hızı, güneyine göre 0.5-0.75 oranında daha zayıftır (Türker, 1996). Yüce (1990), normal deniz ve hava koşullarında ara yüzeyi derinliği güney eşğinde 10-15 m, kuzey eşğinde ise yaklaşık 40-45 m civarında olduğunu göstermiştir (Şekil 2).

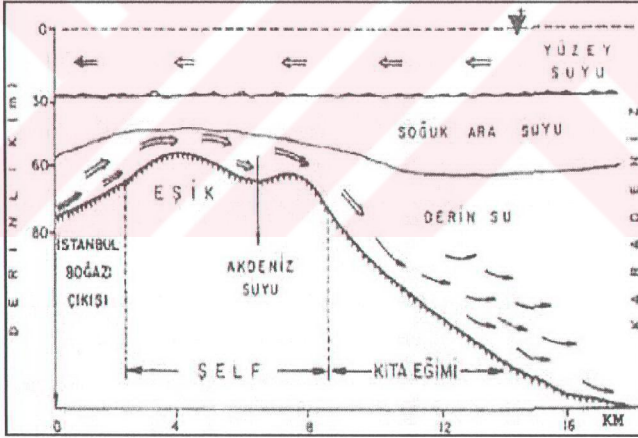


Şekil 2. İstanbul Boğazı boyunca 20 ppt ve 30 ppt tuzluluk ara yüzey değişimi

Bölgede kuvvetli kuzeyli rüzgarların varlığında, İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışında su seviyesi yükseldiğinden, Karadeniz-Akdeniz suyu ara yüzeyi derinliği artmaktadır. Ancak güneyli rüzgarlar, boğazın güney ve kuzeyi arasındaki su seviyesi farkını azaltacaklarından, ara yüzey derinliği sığlaşarak yüzeye doğru yükselmektedir. Bu nedenle ara yüzeyi tuzluluğu (20 ppt) derinliğinin arttığı ve eşik derinliğini aştığı, kuvvetli

kuzeyli rüzgarların varlığında, kış ve ilkbahar aylarında Akdeniz suyunun kısa süreli olarak Karadeniz'e akışının kesildiği ve terslendiği bilinmektedir (Latif vd., 1991). İstanbul Boğazı'nın eşik kesiti Şekil 3'de verilmiştir.

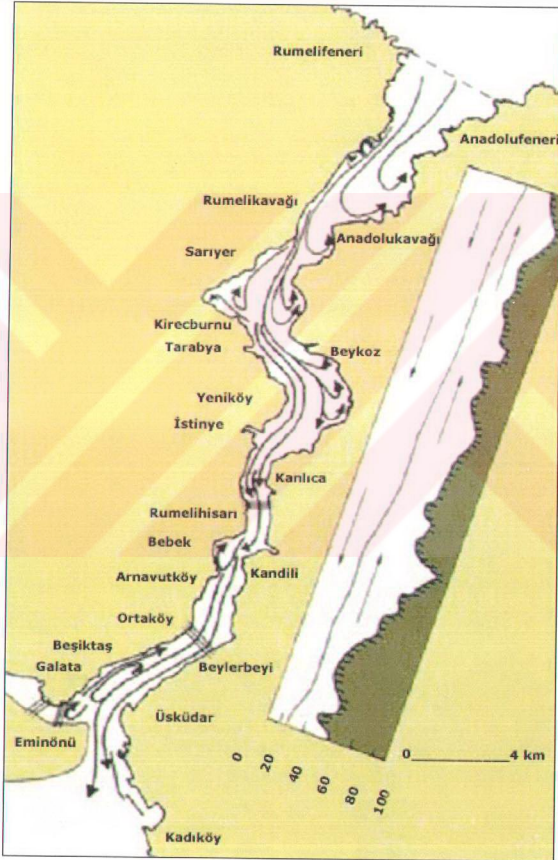
Yüzey sularının tuzluluğu genellikle ortalama ‰ 17.0-17.5 arasında olduğu bilinmektedir. Ortalama en yüksek yüzey tuzluluğu ‰ 17.5-19.0 olarak bilinmesine karşın bazı özel durumlardan dolayı, örneğin kışın güçlü güneyli rüzgarların artması sonucunda, ‰ 25'e varan değerler görülebilmektedir. Boğaza kuzeyden 10 km içlere doğru girildiğinde tuzlulukta ‰ 2 oranında artış olmaktadır. Güneyli rüzgarların yoğun olduğu eylül, kasım aylarında genellikle akıntı hızında düşmeler olur. Bu rüzgarların oluşması ile boğazın tuzluluğunda da değişiklikler oluşturur. Bir gün içinde rüzgar hızının değişmesi ile tuzluluk ve akış hızı süratle değişebilmektedir. Şöyle ki, Marmara Denizi'nin yüksek tuzlu suları rüzgar etkisi ile akıntıya ters olarak boğaza girer ve akıntının yönünü rüzgar etkisi ile değiştirir, böylelikle tuzlulukta yükselir (Türker, 1996).



Şekil 3. İstanbul Boğazı'ndaki eşik kesiti

İstanbul Boğazı'ndaki yüzey akıntısının boğaz boyunca dağılımı Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi (SHOD) tarafından deniz haritalarında kullanılmak üzere çıkartılmıştır. SHOD (1990), tarafından tespit edilerek deniz haritalarında yayınlanmıştır. Hazırlanan bu

harita genel olarak yüzey ve alt su akıntısının dağılımını göstermektedir (Şekil 4). Örs (1997), yapmış olduğu çalışmada İstanbul Boğazı'ndaki akıntıyı sonlu elemanlar yoluyla modellemiş ve oluşabilecek kontaminasyonları tespit etmiştir. Aynı çalışmada kuzeyli rüzgarların olduğu durumda boğazın Avrupa kıyılarına yoğun bir kontaminasyonun olduğunu bildirmiştir.



Şekil 4. SHOD tarafından hazırlanan İstanbul Boğazı'ndaki yüzey ve alt su akıntısı

Üst tabakadaki az tuzlu Karadeniz sularının, Marmara Denizi'ne, alt tabakadaki çok tuzlu Akdeniz sularının ise Karadeniz'e doğru taşınması sırasında iki tabaka arasındaki sınır Marmara tarafında 18 metrede, Karadeniz tarafında ise 50 metre derinliktedir. Kuzguncuk önlerinde akıntı hızı 1.22 m/s'ye varır. Yüzey akıntısının hızı derinlikle azalırken alt akıntı hızı ise derine inildikçe genellikle kuvvetlenir. Üst akıntı kuzeyden güneye her iki kıyının çıkıntılarını boylar ve burunlar önünde hızlanır (Erinç, 1977).

İstanbul Boğazı'nın üst su akıntısı hızı kuzeyde 0.50 m/s iken güney ucuna doğru 2.00 m/s olarak artar (Erinç, 1987). Ayrıca rüzgarlara bağlı olarak birkaç kat daha artabilir. Buna karşılık devamlı ve şiddetli güney rüzgarları güneye akışı yavaşlatır ve hatta tersine çevirebilir. Bu terse dönme olayına Orkoz denir. Yüzey akıntısının hızı derinlikle azalır. Boğaz alt akıntıları ise hızı 40 cm/s'den 20 cm/s'e ters yönde azalmaktadır. Oysa kuzeye doğru yönelmiş alt akıntı, derine inildikçe genellikle kuvvetlenir ve Çengelköy'den itibaren kuzeye doğru şiddetlenerek yüzey akıntısının hızına eşit değerlere erişir. Bu iki akıntı birbirinden ısı, tuzluluk ve yoğunluk bakımından tamamiyle farklı iki su kütlelerine karşılık gelir (Erinç, 1977, Yüce, 1986).

1.2.4. İstanbul Boğazı'nın Biyolojik Yapısı

Türk Boğazlar Sistemi'nin içinde bulunduğu İstanbul, Çanakkale ve Marmara Denizi farklı özelliklere sahip Karadeniz ve Akdeniz ait ekosistemleri birbirine bağlayan ekolojik açıdan önemli bir bölgedir. Bu sistem Akdeniz ile Karadeniz arasında biyolojik çeşitliliğin korunması açısından önemli bir rol oynamaktadır.

1.2.4.1. TBS'in Ekolojik Karakteristiği

Türk Boğazlar Sistemi Ege ve Marmara denizi ile Marmara Karadeniz arasında bazı türler için biyolojik bir bariyer alanıdır. Öztürk vd. (2001)'in tespit ettiği üzere bu bölgede Akdeniz'in endemik bir türü olan Deniz Çayır'ları (*Posidonia oceanica*) geçişi Çanakkale Boğazı tarafından sınırlandırmıştır. Diğer bir örnek ise, cetacean *Phocoena phocoen*'dir Karadeniz ve Marmara Denizi'nde yaşamasına karşın, yine Çanakkale Boğazı tarafından sınırlandırılmış türlerdendir. Akdeniz ait bazı fitoplankton ve zooplankton türleri ise İstanbul Boğazı'nın alt sularından geçerek Karadeniz'e ulaşabilmektedir. Bu şekilde de bu

denizler arasında ekolojik açıdan önemli olan biyolojik koridor oluşmuş olur. Bu iki deniz arasında geçiş yapan türlere şu örnekler verilebilir; *Muggiaea kochi*, *Solmundella mediterranea*, *Eucalanus crassus*, *Calanus tenuicornis*, *Microsetella rosea*, *Clytemnestra rostrata*, *Microsetella norvegica*, *Mormonilla phasma* ve *Clausocalanus arcuicornis*. Sorokin (1993), yaptığı çalışmada, yaklaşık 20 Akdeniz orijinli türün Marmara Denizi'nden İstanbul Boğazı'nın dip suları ile Karadeniz'e girdiğini tespit etmiştir. Bunların bazıları şunlardır; *Centropages furcifer*, *C. Typicus*, *Pontella lobiancoi* ve *P. mediterranea*. Karadeniz orijinli zooplankton türleri olan *Paracalanus parvus* ve *Acartia clausi* gibi türler Ege Denizi'nde de tespit edilmiştir. TBS içerisinde Karadeniz ve Ege Denizi arasında mevsimlere bağlı olarak balık göçleri de olur. Göçler bahar mevsiminde Akdeniz ve Ege Denizi'nden Karadeniz'e kış aylarında ise Karadeniz'den Ege ve Akdeniz'e olmaktadır. Akdeniz ve Karadeniz arasındaki tuzluluk farkı bazı canlıların yaşam alanlarının sınırlandırılmasında da önemli bir yer tutmuştur (Anonymous, 1999a). İstanbul Boğazı, aynı zamanda geçiş yapan Akdeniz türleri için uyum alanı oluşturur. İstanbul Boğazı'ndan Akdeniz kökenli türlerden 150 tanesinin uyum sağlayarak Karadeniz'e geçtiği Caspers, (1968) tarafından da bildirilmiştir.

TBS, Karadeniz'i Akdeniz aracılığı ile okyanuslara bağlayan tek su yolu olma özelliği, gemilerle taşınan ve taşınacak olan ekolojik ve çevresel riskleri oluşturmaktadır. Okyanus kökenli suların gemilerin balast tankları ile taşınarak Türk Boğazlarını geçip Karadeniz sularına ulaştığı ve bunun sonucunda fauna ve florayı olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Aynı zamanda bu türler gemi karinalarında da taşındığı tespit edilmiştir. Örneğin 1960'lı yıllarda Japon Denizi'nden gemilerin balast tankları ile taşınarak Karadeniz'e gelen Deniz Salyangozu (*Rapana venosa*) bu yeni yaşam yerinde doğal bir predatör özelliği göstermiştir. Bu tür midye ve istiridye gibi kabuklular ile yoğun olarak beslenmiş, stoklardaki dengeyi olumsuz yönde etkilemiştir. Yine ekzotik bir tür olan Ctenophore'lerden *Mnemiopsis leidyi* Karadeniz'e aynı yolla girmiş olan türdür. Bu tür Kuzey Amerika'nın Atlantik kıyılarından 1987 yılında yine balast tankları yolu ile İstanbul Boğazı'nı geçerek Karadeniz'de baskın bir tür olmuştur. *Mnemiopsis leidyi* Karadeniz'deki pelajik ve bentik alanlarda ekosistemi olumsuz yönde etkilemiştir. Predatör bir tür olup Karadeniz'de özellikle hamsi ve istavrit gibi balıkların yumurta ve larvaları ile beslenmektedir. Bu türün popülasyonunda da dikkate alınması gereken önemli bir artış olduğu bilinmektedir (Kıdeys ve Neirman, 1994).

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), balast tankı ile taşınan canlı organizmaların önlenmesi ve bu tip biyolojik koridor niteliğinde olan suların korunması amacı ile gemilerde Balast Tank Kontrol ve Yönetimi adlı rehber yayınlamıştır (URL-1, 2003). Bu rehber vasıtası ile riskleri en aza indirmeyi planlamıştır. Özellikle tanker trafiğinin yoğun olduğu TBS' de örnekleme yapılabilmesi oldukça zor olduğu bilinmektedir (IMO, 1998a).

Türk Boğazlarında 3 ayrı Deniz memelisi (cetacean) türünün *Delphinus delphis*, *Tursiops truncatus* ve *Phocoena phocoena* yaşadı ve göç ettiği bilinmektedir. *Delphinus delphis* gibi bazı yunus türleri Akdeniz'den Marmara Denizini ve İstanbul Boğazını ilkbahar mevsiminde geçerek kış mevsiminde ise tekrar Marmara'ya geçiş yapmaktadır. Özellikle deniz memelileri için önemli ve tek geçiş noktası olan ve bu bölgede sürekli bulunan türler İstanbul Boğazı'ndaki yoğun gemi trafiği, çevresel kirlilikler ve ekolojik problemler yüzünden etkilenmektedir. Besin piramidi göz önüne alındığında İstanbul Boğazı'ndan göç yaparak geçen balıklar ve diğer canlı organizmaların miktarının ve çeşitliliğinin azalmasının bu ekolojik dengeyi olumsuz yönde etkileyeceği bilinmektedir. Karadeniz yunuslarından özellikle *Delphinus delphis* Boğazlardan Karadeniz'e göç yaparak gelen *Trachurus trachurus* ve *Pomatomus saltator* türleri ile beslenmektedir. İstanbul Boğazı yunusların beslenmesi açısından önemli bir yer tutmaktadır. Göçmen balıkların geçişleri sırasında beslenme amaçlı olarak bu bölgelerde yoğun olarak bulunmaktadır (Anonymous, 1999b).

İstanbul Boğazı'na olan insan baskısı 1970'li yıllardan sonra oldukça artmıştır. Özellikle gemi trafiğinin artması ve buna bağlı olarak gemi kazalarının yaşanması sonucunda meydana gelen kirlilik ve sonuçları etkileyicidir. Nassia tankerinin 1994 yılında yapmış olduğu kaza sonrasında meydana gelen petrol dağılımı sonrasında petrol kirliliğinden dolayı karaya vuran yunusların geçmiş yıllara göre dağılımı Tablo 2 de verilmiştir .

Tablo 2. İstanbul Boğazı'nda karaya vuran yunusların yıllara göre dağılımı

Yıllar	Doğal sebeplerden ölüm	Petrol kirliliğinden ölüm
1989-91	11	-
1992	1	-
1993	1	-
1994*	1	8

*Nassia Tankeri kazasından sonra

Türk Boğazlar Sistemi'nde göçmen ve sürekli bu bölgede yaşamını sürdüren kuşlar bulunmaktadır. Bu kuşların özellikle değişen çevresel değişim nedeniyle etkilenmekte oldukları bilinmektedir. Göç etmeyen ve bu alan içerisinde bulunan kuşlara şu türler örnek verilebilir; *Gavia arctica*, *G. stellata*, *Podiceps cristatus*, *P. griseigena*, *P. nigricollis*, *Puffinus puffinus*, *Phalacrocorax aristotelis*, *P. sarbo*, *Ardea cinerea*, *Anas crecca*, *A. querquedula*, *Mergus serrator*, *Fulica atra*, *Haematopus ostralegus*, *Charadrius dubius*, *C. alexandrinus*, *Larus ribidinus*, *L. minutus*, *L. melanocephalus*, *L. argentatus*, *L. fuscus*, *L. canus*, *Sterna sandvicensis*, *S. hirundo*, *S. albifrons*, *Chlidonias leucopterus*, *C. hybrida*, *Gelochelidon nilotica* ve *Hydroprogne tschegrava*. Ege Denizi ve Karadeniz arasında karşılıklı olarak göç eden kuşlarda bulunmakta olup, bunlar özellikle *Ateherina boyeri*, *Trachurus trachurus* ve *Sprattus sprattus* gibi balıklarla beslenmektedirler. Bu balıkların populasyonların da meydana gelen azalmalar bu kuşların göçlerinin düzensiz hale gelmesine sebep olduğu tarafından bildirilmiştir (Anonymous, 1999b). Bu göçmen kuşların mevsimlere bağlı olarak göç yolları Tablo 3'de görüldüğü gibidir.

Tablo 3. Türk Boğazları'ndan geçen deniz kuşlarının göçleri

Kuş Türü	Çanakkale Boğazı		İstanbul Boğazı
	Ege'den Marmara Deniz'ine	Marmara'dan Ege Deniz'ine	Marmara'dan Karadeniz'e
			Karadeniz'den Marmara'ya
<i>Gavia arctica</i>			Mart
<i>G. stellata</i>			Ocak-Şubat
<i>Larus canus</i>			Mart-Nisan
<i>L. fuscus</i>			Ekim-Kasım
<i>L. melanocephalus</i>			
<i>Phalacrocorax aristotelis</i>			Mart-Nisan
<i>P. carbo</i>			Mart-Nisan
<i>Chlidonias hybrida</i>		Kasım	Ekim
<i>C. leucopterus</i>			
<i>Gelochelidon nilotica</i>			
<i>Hydroprogne tschegrava</i>		Nisan	Mayıs
<i>Podiceps cristatus</i>		Ekim-Kasım	Eylül
<i>P. griseigena</i>			
<i>P. nigricollis</i>			
<i>Sterna sandvicensis</i>			
<i>S. hirundo</i>			

Bir çok pelajik balığın göç yolu olan İstanbul Boğazı'nda balıkçılık yoğun olarak yapılmaktadır. Küçük ölçekte balıkçılık yapan balıkçılar genel olarak sepet, olta, galsama ağlar ve küçük çevirme ağlarını tercih etmektedir. Endüstriyel balıkçılık yapan balıkçılar ise trol ve büyük çevirme ağları kullanılmaktadırlar. İstanbul Boğazı'nın, zaten yoğun gemi trafiği balıkçılık aktivitelerini olumsuz yönde etkilemekte, aynı şekilde balıkçılık aktiviteleri de trafiği riske sokmaktadır (Öztürk vd., 2002).

1.3. İstanbul Boğazı'ndaki Kirlilik

Türk Boğazlar Sistemi, komşu denizleri vasıtası ile oldukça fazla kirlilik yüklenmektedir. Endüstriyel ve evsel kirleticilerin büyük bir kısmı Karadeniz'e batı ve orta Avrupa'dan Tuna, Dinyeper ve Dinyester gibi nehirler aracılığı ile gelmekte ve sonrasında İstanbul Boğazı'na giriş yapmaktadır. Bu ağır kirlilikten dolayı Marmara Denizi de ötrofikasyon açısından baskı altına girmektedir (Ünal vd., 2000).

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), gemilerden kaynaklanan hava kirliliğini önlemek ve kontrol altına almak amacı ile bir yönetmelik hazırlamıştır. Bu yönetmelik MARPOL 73/78 ek 6 olarak bilinmektedir (Anonymous, 1978). Türk Boğazları'ndan yılda ortalama 50000'in üstünde gemi geçtiği düşünüldüğünde, bu gemilerden meydana gelen eksoz gazlarından dolayı oluşacak sera etkisi ve hava kirliliğinin de önem kazanacağı bilinmektedir. Özellikle Türk Boğazları tanker kazaları ve sonrasında çıkan petrol yangınlardan sonra yüksek oranda sülfür içerikli gaz çıkışları meydana gelmiştir. Boğazlardan geçen gemiler için henüz eksoz gazı takibi yapılmamaktadır (Anonim, 2002).

Gemilerin karinalarına canlı organizmaların tutunmasını engellemek amacı ile TBT (Tributyltin) içerikli antifouling boyalar kullanılmaktadır. Bu TBT içerikli boyalar, deniz canlı yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir. IMO tarafından TBT içerikli antifouling boyaların kullanımını 2003 yılından itibaren yasaklamış ve 2008 yılından itibaren de tamamen kullanımı yasaklanmıştır (IMO, 1998b). Buna ilaveten dünya da bir çok ülke 25 m üstündeki tüm gemiler için TBT içerikli bu boyaların kullanımını yasaklamıştır. TBS'den geçen gemilerde bu konuda kontrol amaçlı yapılan çalışma kayıtları bulunmamaktadır.

Türk Boğazları'ndan geçen gemilerden MARPOL 73/78'e göre yasak olmasına karşın çöp ve sintine sularının basılması sonucunda kirlilik olduğu bilinmektedir. Çöp atıkları içinde buluna plastiklerin kıyılara vurması veya yüzeyde yüzmesi ve diğer bazı

öplerin dibe çökmesi veya su kolonunda bulunması gözle gözlenebilen bir kirliliktir. İstanbul Boğazı'nın Karadeniz girişinde Öztürk ve Öztürk'ün (1996), yapmış olduğı çalışmada, Riva, Poyraz ve Altinkum kıyılarında gemilerden kaynaklanan kirliliğı tespit etmiştir.

Türk Boğazları'ndan geçen gemilerin meydana getirdiğı akustik kirlilik de bu ekosistemi etkilemektedir. Özellikle deniz memelilerinin beslenme ve haberleşme sistemini etki altına almaktadır. Kofead ve Mikelsan (1997) göre, hızlı feribotların ve yüksek hızdaki gemilerin çıkarmış olduğı akustik kirlilik bu bölgedeki yunusları olumsuz etkilemektedir. Öztürk vd., (2002)'e göre İstanbul Boğazı'nda sıklıkla yunusların görülememesine sebep olabilir.

1.3.1. İstanbul Boğazı'ndaki Petrol Kirliliğı

Deniz kirliliğinin en önemli kaynağını insanlar tarafından yapılan işlemler sırasında petrol boşaltımları oluşturur. Uluslararası petrol taşıyan yük gemilerine petrol sevk edilmesi sırasındaki kirliliğın yanında, yurt içi taşımacılıkta da kirlleticiler önemli bir yer tutar. Petrol denizleri kirleten en önemli kirleticilerden biridir. Çok sayıda bileşimin karışmasından oluşmuştur. Ham petrol ise binlerce farklı bileşik içerir. Ham petrol deniz organizmaları için zehirli maddeler içerir, bunların bazıları suda çözünür. Uluslararası tanker filosu ve yük gemilerinin zaman içinde yaptıkları seferler sırasında denizlere boşalttıkları petrolün miktarı 2.1 milyon ton olarak hesaplanmıştır. Petrolün yükleme ve boşaltma sırasındaki denize karışan petrol kirliliğı ise toplam % 3 civarındadır (Aroğuz, 1996).

Güven vd., (1998)'e göre denizlerde oluşan petrol kirliliğinin temel oluşum sebepleri şöyle sınıflandırmıştır; tanker balast sularının boşaltılması, tanker kazaları, denizden petrol üretimi, rafineriler ve diğerkaynaklar (gemicilik aktiviteleri, kıyısalkirlleticiler, endüstriyel atıklar, nehirler ve atmosferden). Ayrıca aynı çalışmada alglerin, petrol kirliliğinin belirlenmesinde bir belirleyici olduğunu söylenmiştir.

Tankerlerin ve yük gemilerinin kaza sonucu çarpışması, karaya oturması, taşıdıkları yükün yanması veya denize dökülmesi ile ortaya çıkan kirlilik önemli boyutlarda olmaktadır. Dünya üzerinde ülkelerin enerji gereksinimleri teknik ve ekonomik gelişmeleri deniz üzerinden çok miktarlarda petrol ürünlerinin tüketici ülkelere taşınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu taşınmalar sırasında gittikçe artan bir şekilde deniz

kazaları oluşmakta ve deniz ortamı, bu kazalar sonucunda denize dökülen petrol ürünlerinden ciddi boyutlarda kirlenmektedir. Denize karışan toplam petrol miktarının % 5'i tanker kazalarından olduğu bilinmektedir. Denize dökülen petrol ve bunun sonucu olarak ortaya çıkan kirlilik, ekosistem içindeki tüm organizmaları az yada çok mutlaka etkilemektedir. Kıyı bölgelerinde yaşayan canlılarda hidrokarbonlar önemli oranda birikim oluştururken, açık denizlerde yaşamını sürdüren canlılarda petrol ürünlerinin ppm oranlarındadır (Clark, 1997). Evens ve Olson (2002) petrol dağılımlarının simulasyonun yapılmasının risk analizinde önemli olduğunu bildirmiştir.

Petrol ürünlerinin canlılarda yarattığı toksik, akut veya kronik etkilerin yanı sıra, dolaylı fizyolojik etkileri de söz konusudur. Örneğin, petrol ve petrol ürünlerinin canlıların beslenmesinde yaşamsal rol oynayan kemoreseptörler, yani kimyasal algılayıcıların üzerini kapatarak organizmanın beslenme olanağını ortadan kaldırdığı saptanmıştır. Ayrıca dişi ve erkek organizmanın üremesini etkileyerek türlerin gelişmesine engel olabilmektedir. Gelişmelerin başlangıcındaki larvaları da öldürmek suretiyle üremeyi büyük çapta etkilemektedir. Fitoplankton'da hücre bölünmesinin gecikme ve engellenmesi, balıklarda normal dışı yumurtlama, sudaki organizmaların beslenme davranışlarının değişmesi, yumurta döllenmesi ve üremenin engellenmesi, kabuklularda beslenme, yem, su filtrasyonu işlevlerinin durdurulması en yoğun olarak görülen etkilerdendir. Denizde yaşayan canlıların yanı sıra su yüzeyini paylaşan kuşlarda yüzeyde oluşan film tabakasından etkilenirler. Hemen hemen her büyük tanker kazasından sonra martı, karabatak gibi kuşların kitleler halinde öldükleri bilinmektedir. Bu kuşlar avlanmak amacı ile suya dalışları sırasında petrol ile sıvandıklarından uçamamakta, çırpınma sürecinde yuttukları ve deri ile temas eden petrolden zehirlenmektedir. Denizlerin içinde yaşayan ve yavaş hareket edebilen organizmalar su içinde oluşan su petrol emisyonlarından ve süspansiyon halindeki partiküllerden daha çok etkilenirler. Midye, istiridye gibi zemine yapışarak yaşamlarını sürdüren yer değiştirme yetenekleri olmayan türlerin petrol kirliliğinden etkilenmesi daha fazladır. Bu tür canlılarda renk değişikliği de görülmektedir. Ayrıca kitlesel ölümün yanı sıra kötü koku ve tat da oluşturmaktadır. Sedimentasyonla deniz dibinde biriken petrol kalıntıları ve katran; dalga hareketleri, kum çıkarma gibi bazı etkenlerle kıyılara sürüklenmekte ve turizm amacı ile kullanılan kıyılar kirlenmektedir. En çok etki denizin gel git hattında yaşayan canlı topluluklarında görülmektedir. Denizde ekosistemde önemli rol oynayan suya

oksijen sağlayan fotosentetik bitkiler, su yüzeyine yayılan petrol filmi ışık girişinin azalması ile bu işlevlerine engel teşkil etmektedir (Aroğuz, 1996).

Polikarpov vd., (1994) göre, Türk Boğazları'na gemi kazaları, yoğun gemi trafiği ve Karadeniz'den karışan yıllık petrol miktarı 80000 tonu bulunduğunu belirtmektedir. Readman vd. (2002) yaptığı çalışmada, Karadeniz ve İstanbul Boğazı'ndaki PAH (Polycyclic aromatic hydrocarbon) değerleri ölçülmüştür. Yapılan bu ölçümlerde Tuna Nehri ve Odessa limanından sonra en yüksek değerin İstanbul Boğazı'nda olduğu bildirilmiştir. Güven vd. (1998) Türk Boğazları'nda 1995-1997 yılları arasında yapmış olduğu çalışmada İstanbul Boğazı'ndaki petrol kirliliğinin artış eğiliminde olduğunu tespit etmiştir. Talınlı vd. (1999) yaptıkları çalışmada tehlikeli maddelerin çevresel risklerinin belirlemiştir. Çalışmada petrol ve petrol ürünlerinin ekosisteme ve insanlara etki ve risk altına aldığını bildirmiştir. Otay ve Yenigün (2003) İstanbul Boğazı'nda 2002 yılında M/V Gotia adlı Malta bayraklı geminin kazası sonrasında meydana gelen petrol dağılımını belirlemişlerdir. Kaza sonrasında 6 saat süre ile dağılım takibi sonrasında petrolün boğazda kıyı alanına ulaştığını bildirmiştir.

1.4. İstanbul Boğazı'ndaki Deniz Trafiği

1.4.1. İstanbul Boğazı'ndaki Hidrografik Koşulların Seyire Etkisi

İki kıtayı birbirinden ayıran İstanbul Boğazı, stratejik ve ekolojik açıdan dünyanın en önemli su yollarından biridir. Gemi geçişi açısından oldukęa yoğun trafiğe sahip olan bu su yolunun topoğrafik, jeomorfolojik, hidrografik ve meteorolojik yapısı gemilerin çatma, çatışma, karaya oturma, yangın, patlama gibi tehlikelerle karşılaşmasına yol ağmaktadır.

İstanbul Boğazı, 31 km uzunluğunda, ortalama harita su derinliği 35 m ve iki kıyısı arasındaki ortalama genişliği 1.5 km olan bir su yoludur. Kandilli Burnu ile Arnavutköy Akıntı burnu arasındaki en dar kısmında genişlik 700 metreye kadar azalmaktadır. Boğazın Asya tarafındaki kıyı uzunluğu yaklaşık 35 km olup, daha kıvrımlı olan Avrupa tarafındaki kıyıları ise yaklaşık 55.5 km uzunluğundadır. İstanbul Boğazı geçişini tamamlayan bir geminin ortalama 15 önemli rota değişikliği yaptığını göstermektedir. Dört noktada yaklaşık 45° ve Yeniköy şamandırıası açıklarında da yaklaşık 80°'lik büyük ağılı rota değişikliği yapmak zorunda kalan gemiler, akıntı tesiri altında kontrol edilmeleri

oldukça güçleşmektedir. Bu su yolunun içinde aktığı vadi tipli yapının dikeydeki olumsuz özellikleri olan banklar, diğer sığlıklar, kayalıklar ve yataydaki özellikleri olan kıvrımlı yollar ve darlıklar gemilerin güvenli seyir koşulları üzerine belirleyici olabilmektedir. Bu açıdan, gemi kazalarının birer etkeni olarak bakıldığında, gemilerin seyir yaptıkları Boğaz Bölgesinin coğrafik, topolojik ve jeomorfolojik özellikleri gemi hareketlerini ve istenen rotanın seçilmesini olumsuz olarak etkilemektedir (SHOD, 1994).

İstanbul Boğazı'nda genel olarak iki tip trafik vardır. Bunlar yerel ve uğraksız trafik olarak isimlendirilebilir. Bunlardan birincisi olan yerel trafik, kıyılara paralel olarak oluşan “kıyısız yerel trafik” ve karşılıklı iki kıyı arasında oluşan “uğraksız geçişe aykırı yerel trafik” olarak iki alt kısma ayrılabilir. Boğazlar Tüzüğü'ne göre seyri, Boğazlar ve Marmara Bölgesi'nde bir liman, iskele ya da bir yere uğramamak üzere planlanmış olan ve bu husus, gemi kaptanı tarafından Boğazlar Bölgesi'ne girişten önce Türk makamlarına bildirilmiş, zararsız, devamlı, çabuk ve gecikmesiz geçen gemilerin oluşturduğu hareket “uğraksız geçiş trafiği” olarak isimlendirilmektedir (SHOD, 1998). Ancak teknik açıdan bakıldığında, transit trafik iki alt kümeye ayrılabilir. Bunlar, Marmara Bölgesi'ndeki herhangi bir limandan ayrılarak veya oraya varmak için Boğaz'dan yapılan gemi geçişlerinin oluşturduğu “uğraklı trafik” ve seferleri sırasında her iki Türk Boğazı'nı birden kullanan ve hiçbir Marmara Limanı'na uğramayan gemilerin oluşturduğu uğraksız trafiktir (Oğuzülgen, 1994).

Boğaz'daki sığ sular gemilerin manevrasını ve seyir alanlarını sınırlandırıcı önemli etkiler oluştururlar. Gemiler su çekimleri nedeniyle sığ sulara girmekten kaçınırlar ve bundan dolayı da manevra yapma ihtiyacı duyarlar. Buna karşın İstanbul Boğazı gibi dar su yollarında manevra yapma şansları kısıtlanır ve de gemi trafik seperasyonunu tehlikeye sokarlar. Sığ su kavramı bir geminin su çekiminin iki katı veya daha az derin sulara girmesi ile oluşmaktadır. Buradan da anlaşılacağı gibi sığ su kavramı geminin su çekimine (draft) göre oluşacak bir kavramdır. Seyir ve manevralar açısından bakıldığında sığ sularda gemilerin seyir ve manevra yapabilme, demirleyebilme ve bağlayabilme, dengede kalabilme işlevleri üzerinde olumsuzluklar görülebilir. Sığ sularda orta ya da yüksek hızlarda ileri doğru hareket etmekte olan gemilerin yerini değiştirdiği suların derin sulardaki gemilerinkine göre daha çabuk geriye akmaya çalışması sürtünme ve karışimleri çoğaltır. Baş ve kık dalga tepeleri ile omuzluklardaki dalga çukurlarının yapısını değiştirir. Bunların sonucunda; dümen yelpazesinin gemiyi döndürücü etkisinde belirgin bir azalma gözlenir, geminin rotayı koruyamama, yani gezinme eğilimleri artar ve gemi hızında

azalma meydana gelir. Denge açısından bakıldığında ise sığ suya girmek, dalga biçimlerinde ve basınçlarında değişiklikler ortaya çıkartarak, gövdesel bir gömülmeye ve öncekinden farklı bir eğime neden olur. İstanbul Boğazı'ndan özellikle yüksek tonajdaki ve draftları fazla olan petrol tankerleri bu su yolundan yoğun olarak geçmekte ve manevralar yapmaktadır

İstanbul Boğazı gibi dar su yollarında yol alan gemilerin su altı bölümleri, kanalın dipte kalan bankları, simetrik ve asimetrik kenar dip yapısı tarafından etkilenirler. Geminin seyir halindeyken yerini değiştirdiği suların geriye doğru akışı, karina ile dar dip kenarları arasında sınırlandırılarak, sınırsız sulardakine oranla farklı hidrodinamik yapılar oluşturabilirler. Bir dar kanalın görülen kısmının orta hattı genellikle trafik ayırım çizgisi olarak belirlenmiştir. Ancak su üstü trafik ayırım çizgisi, kanalın su altında kalarak görülmeyen kısmındaki asimetrik karasal durum ve engeller dolayısı ile su altında farklı bir iz düşüme sahiptir. Bir kanalın orta hattında seyreden gemiler bile anılan asimetrik durum nedeni ile kenar banklarından birisine daha yakın olabilirler, bu durum geminin yakın bordasında oluşan alçak su basıncının emme etkisi ile, geminin kıç tarafının bank tarafından çekilmesi ve baş tarafının ise bank tarafından püskürtülerek uzaklaştırılması gibi fark edilebilir bir gözlemi ortaya koyar (Erol, 1993).

Kıvrımlı bir su yolu olan İstanbul Boğazı, gemilerin rota değiştirme ve manevralarına kısıtlamalar getirmektedir. Bu tip su yollarında görülen ya da su altında kalan kısımlarının karasal uzantıları, gemilerin başlangıçta belirledikleri rotalardan ayrılarak yeni rotalara devam etmeleri gereğini ortaya çıkarmaktadır. Boğazlar gibi dar su yollarında rota değiştirme oranı, geminin bir önceki rotasına aykırı olarak 90° veya daha üzerindeki açılara ulaşabilir. Rota değiştirmek amacı ile dümenine açı verilen gemilerin, dönme hareketi sırasında ve istenilen rotaya dönüldükten sonra kontrol altına (abranabilmeleri) alınabilmeleri bazı etkenlere bağlı olarak ortaya zorluklar çıkartabilir. İleri hareket eden gemilerde dönmeyi sağlayan dümen kuvveti, savrulma, bordasal dışa kayma, mevcut hızda azalma ve bayılma gibi sonuçları da beraberinde getirmektedir. Bu sonuçlar rota değiştiren bütün gemilerde gözlenebilmesine rağmen, dar kanalların hidrografik ve meteorolojik yapısının ortaya koyduğu şiddetli akıntılar, orkozlar, anaförler ve rüzgar tesiri altında beklenenden farklı oluşumlar gerçekleşebilir. Kıvrımlı su yollarında seyreden gemiler, pek çok kez rota değiştirme hareketi yapmak zorunda kalmaktadırlar. Bu, rota değiştirme işlemleri sırasında ve sonrasında ortaya çıkacağı düşünülen fiziksel durumlar, her defasında yeni bir risk oluşturmakta olup, buda güvenli

seyri olumsuz etkilemektedir. İleri yolla hareket eden bir geminin yön değiştirme miktarı ve hızı ile geminin hız, dümenin basılma açısı ve dümenin tutulma süresi arasında doğrudan bir ilişki vardır. Gemi kullanıcıları, bu tür su yollarının hidrografik ve meteorolojik özelliklerini de dikkate alarak, gemi hızını, dümen açısını ve dümeni basma süresini özenle seçerek, çatma, çatışma oturma, denge kaybı gibi gemi kazalarından kaçınmak durumundadırlar. Kanada Sahil Güvenlik Örgütü'nün Kanada'daki dar su yolları için 1984 ve 1992 yılları arasında regrasyon analizi tekniğine dayandırarak bir araştırma yapmıştır. Buna göre; 0,25 deniz milinden daha geniş olan kanallardan geçen gemilerin, her bir derecelik rota değiştirilmesine karşılık kaza yapma risklerinin % 0,05 arttığı; seyredilen kanalın genişliğinin 0,25 deniz mili ve daha az olması halinde ise bu riskin, rota değiştirilen her derece başına % 0,1 artış gösterdiği bildirilmiştir (Tablo 4) (Erol, 1993 ve B.M.C., 1987).

Tablo 4. Kanalın fiziksel özelliklerinin gemi kaza ile ilişkisi

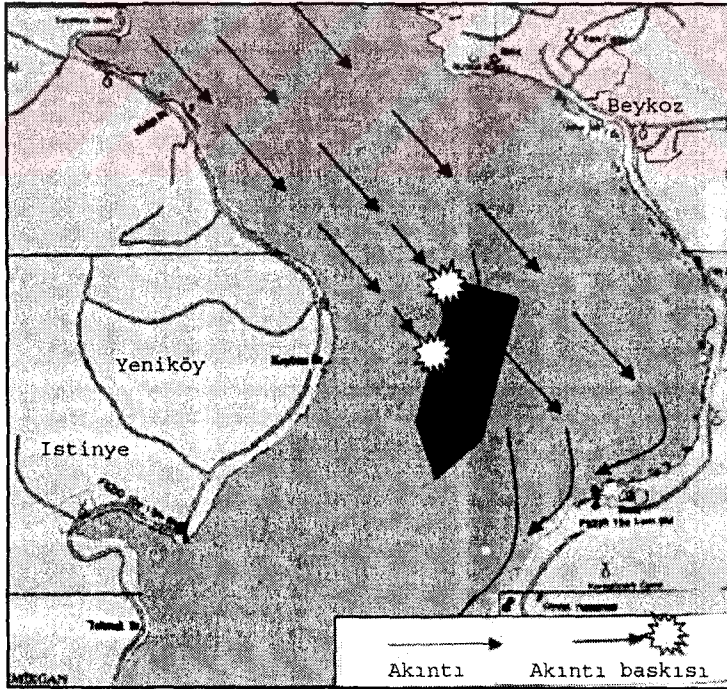
Kanalın Fiziksel Özelliği		Sınırlar	Gemi Kaza Riskine Katkısı	
Genişlik		Kanal Genişliğinin Ort. $\Rightarrow$ 0,25 mil	% 2,5	
		0,25 mil > Kanal Genişliği > 0,16 mil	% 5	
Derinlik		Kanal Derinliği Ort. $\Rightarrow$ 11 m	% 2,5	
Kıvrımlı Yapı Gereği		Kanal Genişliğinin Ort. $\Rightarrow$ 0,25 mil	% 0,05	1° rota değişiminde
Rota Değiştirme		Kanal Genişliği < 0,25 mil	% 0,1	1° rota değişiminde

İstikbal (2002), Dar ve kıvrımlı kanallardaki kaza risk faktörleri genel olarak şu şekilde sınıflandırmıştır;

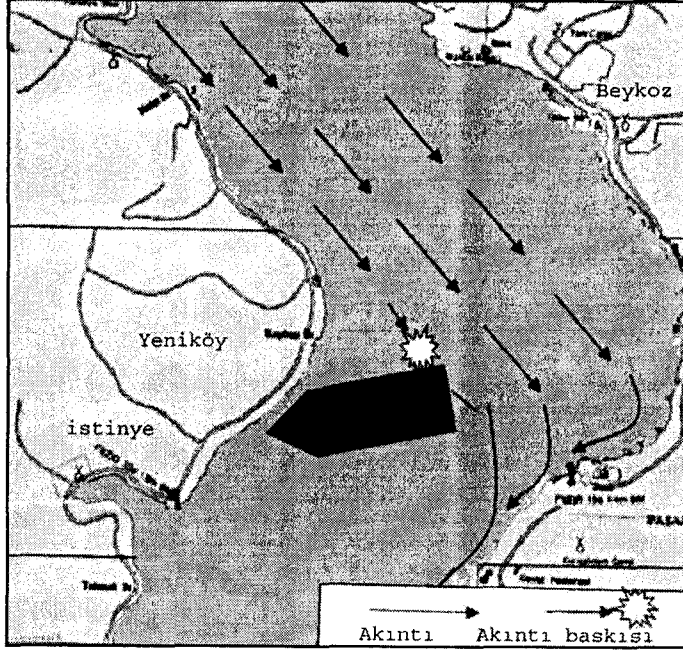
- Fiziksel Faktörler: Boğazın geometrisi ve donanımları, hidrolojik şartları, akıntı ve rüzgar gibi çevresel etkileri ve hidrografisi.
- Gemi Faktörleri: Tipi, ölçüleri, pervane ve itici sistemleri, hidrodinamiği, manevra kabiliyeti ve donanım özellikleri.
- Ekonomik Faktörler: Gemi planlaması ve yük transfer operasyonları.

- d. Karşılıklı Geçiş: Yükler, deniz trafiği, Karşılıklı geçişe maruz kalma, seyir yardımcıları ve seyir sistemleri, trafik ve su yolu yönetimi ve römorkörler gibi destek araçları.
- e. Önem Sırası: Gemi, insan yaşamı, çevre, ekonomi ve mal varlığı.
- f. İnsan Faktörleri: Kararlılık ve karar verme, personelin yeterliliği ve uygunluğu, çalışma şartlarının uygunluğu.

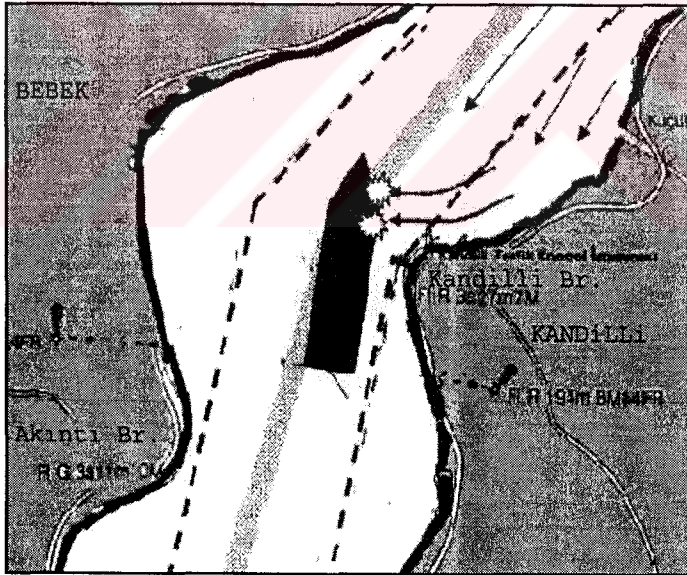
Dar ve kıvrımlı kanallarda seyreden gemiler için, dönüşleri sırasında akıntının etkisi ile kontrolsüz olarak sürüklenme, oturma ve çatışma gibi riskler her zaman vardır. İstikbal, (2002) İstanbul Boğazı'nda yaptığı bir çalışmada, Yeniköy dönüş noktasında büyük bir geminin akıntıya maruz kalması durumunu şöyle irdelemiştir; Şekil 5' de dönüş yapan bir geminin dönüş anında kıç taraftan akıntının yapmış olduğu baskı nedeni ile geminin başı dümen ters yöne basılmasına karşın (Şekil 6), akıntı etkisinden kurtulamadığı görülmektedir. Şekil 7'de ise bir geminin İstanbul Boğazı Kandili dönüşü sırasındaki baş taraftan maruz kaldığı akıntı durumu gösterilmiştir .



Şekil 5. Yeniköy'deki akıntının keskin dönüş etkisi



Şekil 6. Yeniköy keskin dönüşü sonrası, akıntıya karşı dümen etkisi



Şekil 7. Kandilli dönüşü ve akıntı etkisi

Bir geminin akıntılı bir su kütleindeki yol alımını, akıntının hızı ve yönünden başka, geminin rotası, su içindeki makine gücünün akıntıya maruz kalma süreside etkiler. Gemilerin deplasmanca büyük olmaları, kullanıcısı tarafından kontrol edilmesi

momentum nedeni ile daha güçtür. Büyük gemilerin kazanmış olduğu momentum, oluşabilecek bir gemi kazasının etki şiddetini de gemiye oranla daha artırır.

Dar kanallarda ve boğazlarda ise akıntı daha özel bir durum alır. Bu coğrafi yapıların kıvrımları, dipteki girintiler ve özellikle çıkıntıları akıntısız su hareketinin bilinen genel akış yönünden sapması, su yolunun darlaşan yerlerinde hızlarının artması gibi sonuçları ortaya koyabilir. Su geçitlerindeki bu durum, sık sık rota değişikliği yapmak zorunda kalan gemilerin, baş ve kıçlarının farklı yön ve şiddetlere sahip akıntısız etkilere uğramalarını ve böylelikle de rotalarını koruyamayarak, izlemek istedikleri trafik ayırım hatlarının dışına savrulmaları sonucunun ortaya çıkartabilir. Bu akıntısız etkileri yenmek için, dönüşler sırasında kullanılacak olan dümen açısı miktarının, dümen basma zamanları ile olan ilişkisinin ve geminin bu sıradaki hızının çok dikkatli incelenmesi gereklidir.

Özen vd., (1998) yaptığı çalışmada İstanbul ve Çanakkale Boğaz'larında, Boğazlar Tüzüğü'nü inceleyerek kapasite tahminlerini yapmıştır. Bu çalışmada, dar su yolu olan boğazlarda gemi geçişlerinin hacmi belirli bir noktaya geldiğinde boğazların artık bu yükü kaldıramayacağını belirlemiştir.

1.4.2. İstanbul Boğazı'ndaki Gemi Geçişlerinin Sınıflandırılması

İstanbul Boğazı'nda gerçekleşen deniz trafiği incelenirken iki önemli ayrımı göz önünde bulundurmak gereklidir. İstanbul Boğazı'nda genel olarak iki trafik tipinden söz edilebilir. Bunlar yerel trafik ve transit trafik olarak isimlendirilir. Ancak bu tanımlamalar İstanbul Boğazı'nda kullanması gereken hukuksal terminolojiye uygun olmayabilir. Belirtilen tanımlar, trafiksiz hareketin özelliklerini açıkça ortaya koymayı hedefleyen teknik yaklaşımlara dayandırılmıştır.

Bunlardan birincisi olan yerel trafik, kıyılara paralel olarak oluşan transit ve/veya serbest geçişe aykırı yerel trafik olarak iki alt kısma ayrılabilir. Yerel trafiği oluşturan deniz araçları şöyledir; Balıkçı gemileri, Deniz Otobüsleri, Özel Gezinti Tekneleri, Şehir hatları Yolcu Gemileri, Küçük Yolcu Tekneleri, Kum Kosterleri, Hizmet Gemileri.

Boğazlar Tüzüğü'ne göre, Seyir Planı (SP) Boğazlar ve Marmara Bölgesinde bir liman, iskele ya da bir yere uğramamak üzere yapılmış olan ve bu husus, gemi kaptanı tarafından Boğazlar Bölgesine girişten önce Türk makamlarına bildirmiş, zararsız, devamlı, çabuk ve gecikmesiz geçen gemilerin oluşturduğu hareket, transit geçiş trafiği olarak isimlendirilmektedir. Ancak teknik açıdan bakıldığında, transit trafik iki alt kümeye

dallandırılabilir. Bunlar, Marmara Bölgesi'ndeki herhangi bir limandan ayrılarak veya oraya varmak için Boğaz'dan yapılan gemi geçişlerinin oluşturduğu "Kesintili Transit Trafik ya da Serbest Geçiş" ve seferleri sırasında her iki Türk Boğazını birden kullanan ve hiçbir Marmara limanına uğramayan gemilerin oluşturduğu "Kesintisiz Transit Trafik ya da Transit Trafik" tir. İstanbul Boğazı'ndaki yerel ve transit trafikler birbiri ile yakın ilişki içindedirler. Zira kaza raporları, Boğaz'daki gemi kazalarının bazılarının, yerel trafiği oluşturan gemi ve tekneler ile transit geçiş yapanlar arasında olduğu bilinmektedir (Güler ve Poyraz, 1997).

Sovyet Rusya'nın dağılması ile kurulan yeni devletlerin Dünya'ya açılması, ayrıca Tuna Nehrinin Batı Avrupa nehirleri ile ve Volga Nehri'nin Don Nehri ile birleştirilmesi, böylece Batı Avrupa kaynaklı yüklerin Akdeniz'e Türk Boğaz'larını da içine alan bir su yolu ile ulaştırılmaya başlanması sonucunda, İstanbul Boğazı'nın transit trafik yükü oldukça artmıştır (Oğuzülgen, 1995).

1 Temmuz 1994 tarihinde, "Boğazlar ve Marmara Bölgesi Deniz Trafik Düzeni Hakkında Tüzük" yürürlüğe girmesi sonrasında uygulanmaya başlayan, Türk Boğazlar Rapor Sistemi (TUBRAP)'ile Boğaz trafiğine katılan gemiler tarafından verilen bilgiler doğrultusunda daha gerçekçi bilgiler toplanmaya başlanmıştır. Bu tarihten önce geçen gemilerin dağılımları Tablo 5'de gösterilmiştir (Anonim, 1995). 1987 yılından 1993 yılına doğru gelindiğinde Türk ve yabancı bayraklı gemi geçiş adetlerinin ve tonajlarında artış olduğu görülmektedir.

Tablo 5. İstanbul Boğazı'ndan TUBRAP öncesi geçiş yapan gemilerin dağılımı

	Serbest				Duraksız			
	Türk Bayraklı		Yabancı Bayraklı		Türk Bayraklı		Yabancı Bayraklı	
Yıllar	Adet	Tonaj	Adet	Tonaj	Adet	Tonaj	Adet	Tonaj
1987	4226	1311972	882	2452639	80	90859	3997	14664763
1988	4855	2737779	1153	6637743	91	176667	4978	34690196
1989	5225	4009279	1490	6995640	46	133164	7230	56947098
1990	3246	1334770	101	729863	16	96601	4129	23612542
1991	5067	4040131	1898	5518401	125	5111687	7766	46634129
1992	5664	5159604	2500	6266188	256	602020	8301	47995350
1993	7262	9073076	3033	6289599	322	1786585	9643	55674359

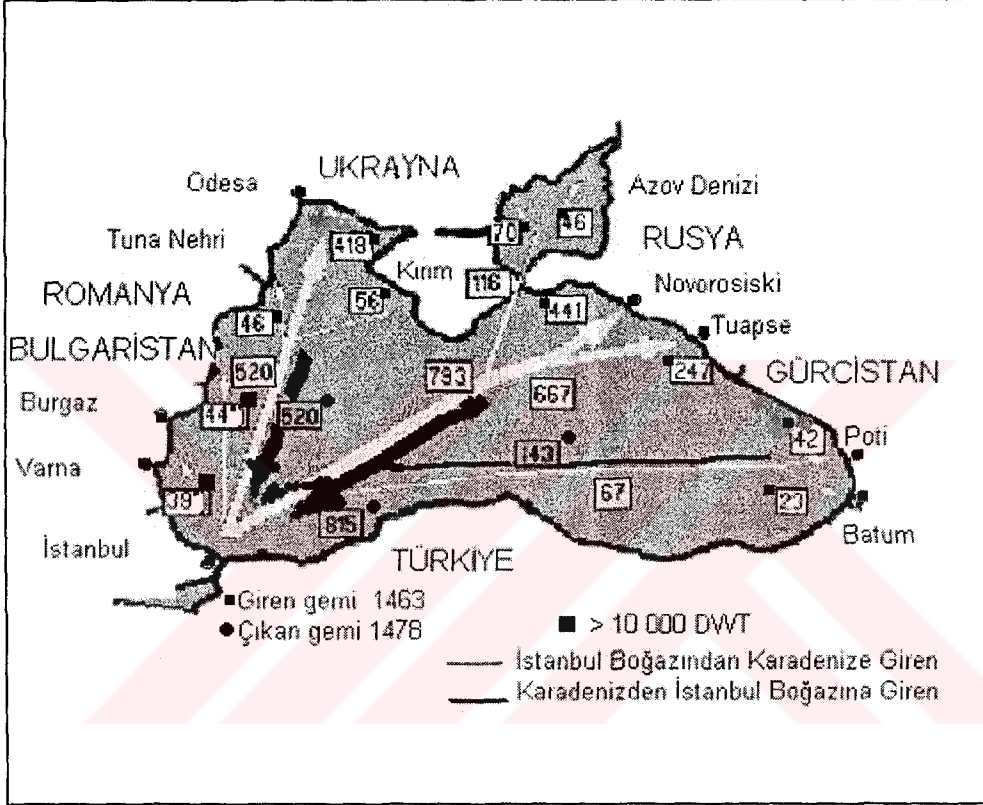
TUBRAP yürürlüğe girdikten sonra yapılan gemi geçiş istatistikleri, geçen gemilerin bayraklarına, taşıdıkları yüklere, kılavuz alma durumlarına, büyük gemi olmalarına (Tüzüğe göre boyu 150 m'nin üzerinde olan gemilerdir), seyir planı verip vermediklerine göre sayısal dağılımları içermektedir. İstanbul Boğazı, 1953-2002 (ilk çeyrek) döneminde 454 deniz kazasına tanık olmuştur. Bu kazaların % 24'ü sol seyir düzeni, % 60'ı sağ seyir düzeni geri kalan %16'sı da trafik ayırım düzeni dönemindedir (Akten 2002). Tablo 6'da İstanbul Boğazı'ndan TUBRAP yürürlüğe girdikten sonraki geçen gemiler ile ilgili bilgiler görülmektedir (Anonim, 2003). 1995 yılından 2002 yılına kadar olan geçişlerde dünyada gelişen ticaret faaliyetlerine paralel olarak deniz ticareti ve taşımacılığı da artış göstermiştir. Toplam gemi geçiş sayısı 40000 ila 50000 adet/yıl arasında olduğu görülmekte olup buna karşın tanker geçiş miktarında bir artış olduğu dikkat çekmektedir.

Tablo 6. İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan gemilerin dağılımı

Adet/Yıl Yıllar	Toplam (Adet)	Klavuz Kaptan Alan	SP Raporu veren	200 m den uzun	500 GT üzerinde	Duraksız geçen	Tankerler
1995	46954	17772	9571	6491	40724	24325	-
1996	49952	20317	12777	7236	44636	23755	4248
1997	50942	19752	15503	6487	45849	24568	4303
1998	49304	18881	24432	1943	44829	24561	5142
1999	47906	18424	30619	2168	44354	26323	4452
2000	48079	19209	38574	2203	44734	26858	4937
2001	42637	17767	38940	2453	40482	26113	6516
2002	47283	19905	44728	3113	45350	29398	9427

Orta Asya (Azeri-Kazak) petrollerinin, boru hatları ile önce Gürcistan'ın Supsa ve Rusya Federasyonu'nun Novorosiski limanlarına ulaştırıp, buradan tankerler ile Türk Boğaz'ları su yolu kullanarak, sıcak denizlere taşınması yolu güngeçtikçe artmaktadır (Şekil 8). Dyeulgerov, (1999) yapmış olduğu çalışmada Orta Asya Türk Cumhuriyetleri'nin ve Kafkas'ların ihtiyaçlarından doğan pazar potansiyeli nedeni ile Boğaz'ların önemini artırdığını ve ayrıca burada olacak gemi trafiğinin daha da artacağını

bildirmiştir. Ayrıca, bununla birlikte, Karadeniz’e kıyısı olan ülkeler Türkiye, Bulgaristan, Romanya ve Sovyet Rusya iken, Aralık 1991 tarihinden itibaren Sovyet Rusya’nın dağılması ile oluşan yeni devletlerin (Rusya, Ukrayna ve Gürcistan) eklenmesi ile Türk Boğazları’ndan geçen gemi sayısı ve bayrağında artış olmuştur. Boğazlar’dan 2000 yılında geçen % 57 si Karadeniz ülkelerine ait gemilerdir (İstikbal, 2001) (Tablo 7).



Şekil 8. Karadeniz’den taşınan petrol yollar (URL-2, 2003).

Tablo 7. Türk Boğaz’larını 2000 yılında kullanan gemilerin bayrak dağılımı

Bayrak Devleti	Toplam Geçiş	200 m’den uzun	500 GT’den büyük	%
Türkiye	15311	51	12503	26
Rusya	5419	39	5357	11
Ukrayna	5195	8	5036	11
Bulgaristan	920	21	913	2
Romanya	476	4	454	1
Toplam	27322	123	24263	57

İstanbul Boğazı'nda 2000 yılında toplam 48079 adet gemi geçiş yapmış, bunların 682'si kimyasal ve 474'ü ise LPG (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı) tankeri olup geri kalanı ise petrol tankeridir. Tablo 8'de 2000 yılında geçen gemilerin aylara ve özelliklerine göre dağılımı görülmektedir. 2000 yılı için yaz ve sonbahar mevsimlerinde boğazda geçiş yapan gemilerin sayısında da artış olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 8. İstanbul Boğazı'ndan 2000 yılı içerisinde geçen gemiler (URL-3, 2003).

Adet/Ay Aylar	Toplam Geçen Gemi	Kılavuz Kaptan alan	SP 1 Raporu veren	200 m'den uzun gemiler	500 GT den büyük gemiler	Marmara limanlarına uğramadan geçenler	Tankerler
Ocak	3284	1519	2378	180	3155	2049	384
Şubat	3397	1462	2647	154	3280	2175	345
Mart	3908	1521	2789	161	3684	2252	368
Nisan	4219	1667	3029	173	3872	2288	425
Mayıs	4127	1658	3043	191	3828	2316	435
Haziran	4191	1608	3435	197	3880	2297	460
Temmuz	4249	1592	3648	197	3950	2460	482
Ağustos	4268	1703	3542	206	3917	2212	448
Eylül	4055	1559	3368	184	3754	2192	403
Ekim	4043	1581	3422	179	3674	2094	383
Kasım	4349	1695	3670	193	3979	2213	425
Aralık	3989	1644	3603	188	3761	2310	379
Toplam	48079	19209	38574	2203	44734	26858	4937
Aylık Ort.	4007	1601	3214	184	3728	2238	411
Günlük Ort.	134	53	107	6	124	75	14
Yüzde %		40%	80%	5%	93%	56%	10%

İstanbul Boğazı'ndan 2001 ve 2002 yılında geçiş yapan gemilerin istatistiki bilgileri incelendiğinde, SP-1 raporu veren gemilerde ve geçiş yapan gemilerin sayılarında artış olduğu görülmektedir (Anonim, 2003). Ayrıca yaz ve sonbahar mevsimlerinde boğazda geçiş yapan gemilerin sayısında da artış olmaktadır. Tablo 9'da 2001 yılı içinde İstanbul boğazı'ndan geçen gemilerin bilgileri verilmiştir. Tablo 10'da da 2002 yılı içinde geçiş yapan gemi bilgileri görülmektedir. 2000 yılında SP-1 raporu veren gemilerin oranı % 80 iken 2001 yılında bu oran % 91 çıkmış ve 2002 yılında da oran % 94 olarak bir artış göstermiştir.

Tablo 9. İstanbul Boğazı'ndan 2001 yılında geçiş yapan gemiler

Adet/Ay Aylar	Toplam Gemi	Toplam GT	Kılavuz Alan	SP-1 Raporu Veren	Uğraksız Gemi	200 m'den		500 GT'den	
						Küçük	Büyük	Küçük	Büyük
Ocak	3413	24221703	1412	3043	2024	3221	192	173	3240
Şubat	3255	23041367	1350	2939	1887	3080	175	157	3098
Mart	3260	23991600	1378	2985	2119	3089	171	123	3137
Nisan	3481	26049957	1389	3111	2119	3283	198	223	3258
Mayıs	3707	27549981	1516	3323	2205	3489	218	235	3472
Haz.	3576	26313224	1489	3234	2106	3378	198	186	3390
Tem.	3798	28213293	1663	3412	2226	3580	218	186	3612
Ağus.	3879	29519302	1577	3536	2325	3642	237	193	3686
Eylül	3797	27605561	1532	3502	2302	3589	208	216	3581
Ekim	3814	28997786	1545	3548	2429	3580	234	177	3637
Kasım	3538	26708149	1543	3298	2250	3340	198	175	3363
Aralık	3119	25983327	1373	3009	2121	2913	206	111	3008
Toplam	42637	318195250	17767	38940	26113	40184	2453	2155	40482
Aylık Ort.	3553	26516271	1481	3245	2176	3349	204	180	3373
Günlük Ort.	117	871768	49	107	72	110	7	6	111
Yüzde %			42	91	61	94	6	5	95

Tablo 10. İstanbul Boğazı'ndan 2002 yılında geçiş yapan gemiler

Adet/Ay Aylar	Toplam Gemi	Toplam GT	Kılavuz Alan	SP-1 Raporu Veren	Uğraksız Gemi	200 m'den		500 GT'den	
						Küçük	Büyük	Küçük	Büyük
Ocak	3296	28385983	1483	3123	2115	3070	226	111	3185
Şubat	3274	26739049	1336	3057	2049	3083	191	131	3143
Mart	3838	31225130	1631	3601	2393	3596	242	159	3679
Nisan	3983	32529031	1692	3745	2401	3755	228	165	3818
Mayıs	4458	34850186	1773	4000	2620	4191	267	270	4187
Haziran	4415	34784692	1784	3992	2259	4137	278	239	4176
Tem.	4122	32504781	1755	3856	2487	3863	259	169	3953
Ağustos	4261	33056954	1712	4105	2650	4003	258	170	4091
Eylül	3985	34690711	1713	3823	2630	3709	276	126	3859
Ekim	4108	34879372	1751	4038	2757	3735	373	137	3971

Tablo 10'un devamı

Adet/Ay Aylar	Toplam Gemi	Toplam GT	Kılavuz Alan	SP-1 Raporu Veren	Uğraksız Gemi	200 m'den		500 GT'den	
						Küçük	Büyük	Küçük	Büyük
Kasım	4085	33636007	1673	3950	2711	3818	267	162	3923
Aralık	3458	3216959	1602	3436	2326	3210	248	93	3365
Toplam	47283	360498855	19905	44726	29398	44170	3113	1932	45350
Aylık Ort.	3940	30041571	1659	3727	2450	3681	259	161	3779
Günlük Ort.	129	987668	54	122	80	121	8	5	124
Yüzde %			42	94	62	93	6	4	95

1.5. İstanbul Boğazı'ndaki Tanker Kazaları

İstanbul Boğazı'nın kendine özgü yapısı ve seyir açısından oluşturduğu zorluklar nedeni ile gemi kazaları yoğun olarak olmaktadır. Boğaz'da oluşan kazalar her milyon DM (deniz mili) (NM) için 6 kaza iken, Suveyş Kanalında 3 kaza, Missisipi Nehri'nde ise 0.2 kazadır (Biblo, 2001). Kılavuz Kaptanlar Derneği'nin (1994), yapmış olduğu bir çalışmada Boğaz'da meydana gelen gemi kazalarında çatışma % 57 lik bir kısmı kapsarken, karaya oturmanın ise % 22'lik bir kısma karşılık geldiği tespit edilmiştir (Tablo 11).

Tablo 11. İstanbul Boğazı'nda meydana gelen kazaların oluş biçimlerine göre analizi

Oluşumuna Göre Kazalar	Gemi Sayısı	Yüzdesi	Kılavuz Alanlar	Deniz Kirlenmesi	Can Kaybı
Çatışma	168	% 57	19	3	39
Karaya Oturma	65	% 22	8	-	-
Karaya Çarpma	24	% 8	4	-	-
Yangın	25	% 8	4	-	1
Diğerleri	14	% 5	5	-	7
TOPLAM	296	% 100	40	3	47

İstanbul Boğazı'nda bir çok gemi kazası olmuştur. Bunların içerisinde tankerlerin yapmış olduğu kazalar önemli ve tehlikeli boyutlardadır (Tablo 12). Romen bayraklı M/T Independenta tankeri ile Yunan Bayraklı M/T Evrialı tankerinin Kasım 1979 yılında boğazda çarpışmaları sonucu, yaklaşık 70000 ton petrol dağılmış ve 20000 ton'u da yanmıştır. M/T Independenta tankeri günlerce yanmış ve sonrasında yanma sonucu ortaya çıkan gazlar bir bulut tabakası oluşturmuştur. M/T Independenta tankerinin Şekil 9a'da yanmaya başladığı an ve Şekil 9b'de ise söndürme çalışmaları sürdürülürkenki görüntüleridir. Öztürk ve Öztürk'ün (2000) yapmış olduğu çalışmada bu kaza sonrasında deniz kuşları, memeliler, balıklar ve özellikle kabuklu deniz canlılarının yoğun olarak etkilendiğini gözlemiştir. M/T Independenta yandıktan sonra Haydarpaşa açıklarına çekilerek tanklarında ve devrelerinde kalan petrolün boşaltılmasına çalışılmıştır. Daha sonrada enkazın kaldırılması için yıllarca süren söküm çalışmaları yapılmıştır. Boğaz'daki gemi kazalarının başta çevresel şartlar olmak üzere bir çok sebebi olduğu bilinmektedir (Or vd., 1999).



Şekil 9. M/T Independanta yanarken (a) ve söndürme çalışmaları (b) sürerken

Tablo 12. TBS de 1964-2002 yılları arası olan tanker kazaları (Güven, 2002).

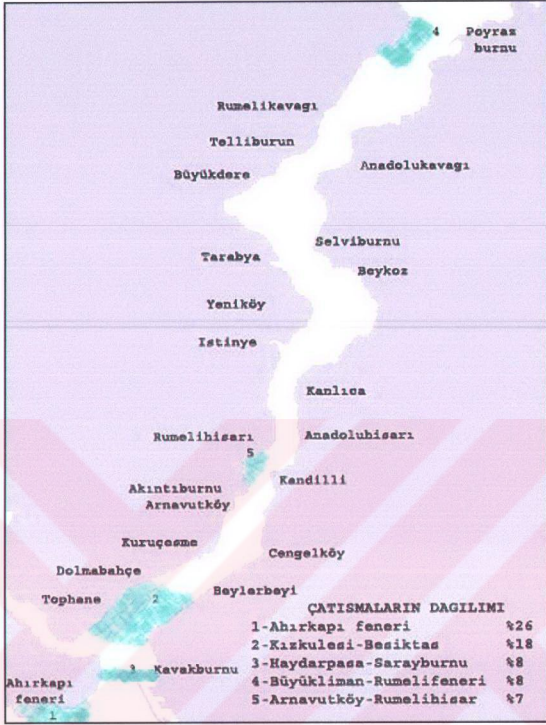
Tarih	Gemi Adı ve Bayrağı	Kaza Sonuçları	Petrol Dağılım Miktarı
19.09.1964	Peter Zoranic -Yugoslav Norborn – Norveç	Çarpışma, Yanma ve Petrol dağılımı	
01.03.1966	Lutsk – SSCB	Çarpışma ve Yangın	1850 ton petrol dağılımı
15.11.1979	Independenta – Romanya Evrialı - Yunan	Çarpışma ve Yangın	70000 ton petrol dağılımı 20000 ton yanma
09.11.1980	Nordic Faith – İngiliz Stavanda – Yunan	Çarpışma ve Yangın	
29.10.1988	Blue Star- Malta Gaziantep – Türk	Temas	1000 ton Amonyak dağılımı
25.03.1990	Jamburg – Irak Da Tung Shan – Çin	Çarpışma	2600 ton petrol dağılımı
13.03.1994	Nassia - Filipin	Çarpışma ve Yangın	9000 ton petrol dağılımı 20000 ton yangın
13.02.1997	TPAO - Türk	Tersanede Patlama	214 ton petrol dağılımı 286 ton yangın
30.12.1999	Volganefit-248 - Rus	Kırılma ve Batma	1200 ton petrol dağılımı
07.10.2002	Gotia	Çarpışma	22 ton petrol dağılımı

1.5.1. Kazaların Meydana Geldiği Bölgeler

Bu Bölümde, İstanbul Boğazı'nda meydana gelen gemi kazaları çatışma, karaya oturma ve karaya çarpma alanları olarak gruplandırıp, kaza sayısı ve oranları verilmiştir (URL-4, 2003).

1.5.1.1. Çatışmaların Bölgelere Göre Dağılımı

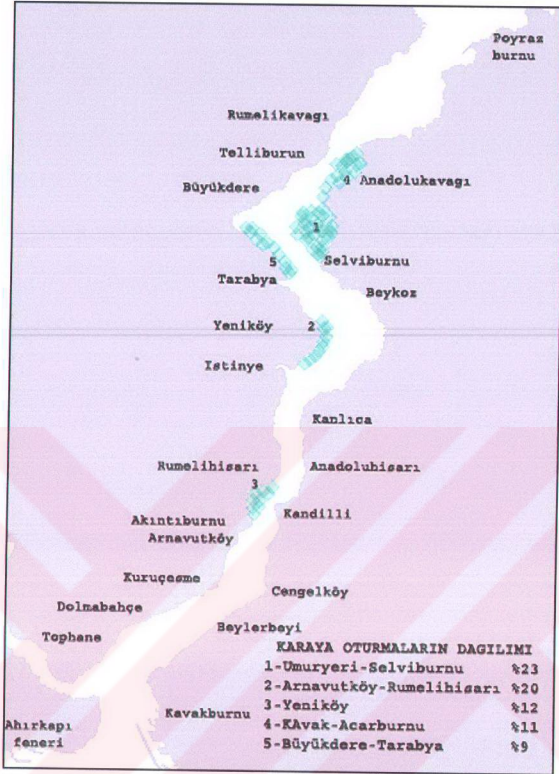
Ahırkapı Feneri açıklarında % 26'lık bir kaza oranı ile başta gelmektedir. Bu bölgenin Güneyden Boğaza giriş yapacak gemilerin yoğun olarak bulunması ile birlikte bu alanda gemiler için ayrılmış demir yerlerinin bulunması ve yoğun olarak karşılıklı yolcu gemilerinin çalışması trafiği artırmaktadır. Yine Kız Kulesi Beşiktaş arasında kalan bölgede de yoğun trafik ve akıntı etkisi de çatışma oranlarını bu bölgede artırdığı görülmektedir. İstanbul Boğazı'nın Güney'i Kuzey bölgesine göre çatışmanın daha fazla gözlenmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. İstanbul Boğazı'ndaki çatışmaların dağılımı

1.5.1.2. Karaya Oturmaların Bölgelere Göre Dağılımı

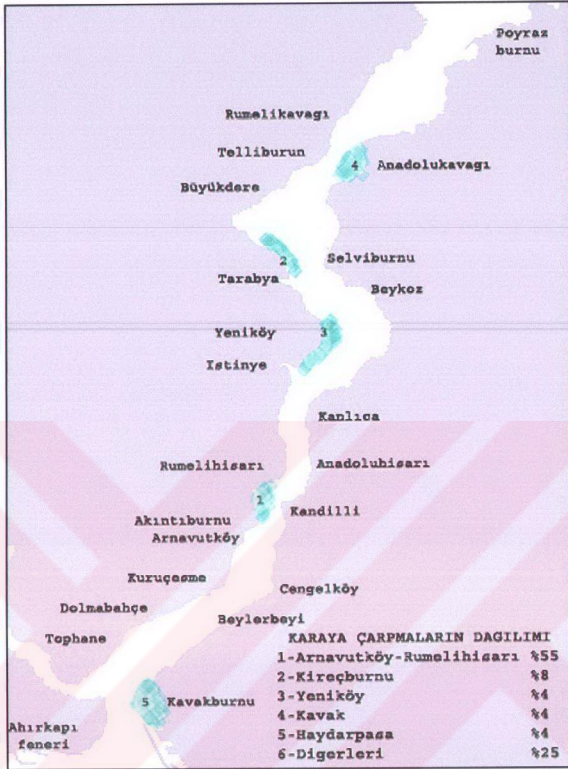
Boğaz'ın Umuryeri dönüş mevkiinde bulunan sığlık alan ve bu bölgedeki akıntı miktarının fazlalığı dönüş sırasında sürüklenmelere sebep olmaktadır. Bu bölgedeki karaya oturma oranı ise % 23 dür. Bununla birlikte Kandilli önlerinde bulunan “Şeytan Akıntısı, olarak adlandırılan akıntının etkisiyle de bu bölgede sürüklenme sonucunda Arnavutköy Rumelihisari arasında karaya oturma meydana gelmektedir (Akten, 2002). Boğaz'da karaya oturmaların meydana geldiği yerler Şekil 11'da verilmiştir (URL-4, 2003).



Şekil 11. İstanbul Boğazı'ndaki karaya oturma dağılımı

1.5.1.3. Karaya Çarpma Olaylarının Bölgelere Göre Dağılımı

Karaya çarpmaların çok yoğun olarak yaşandığı Arnavutköy ile Rumelihisarı arasının dar oluşu, bölgedeki akıntının hızlı oluşu ve değişen hidrografik şartlar ile Şeytan Akıntı'sının oluşması, kaza miktarını artırmaktadır. Bu bölgede oluşan kazalar kara çarpmayla oluşan kazaların % 55 ini oluşturmaktadır. Şekil 12'de karaya çarpma ile oluşan kazaların yerleri ve oranları verilmiştir.



Şekil 12. İstanbul Boğazı'nda karaya çarpmaların dağılımı

1.6. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Asya ve Avrupa kıtalarını birbirinden ayıran İstanbul Boğazı, kıvrımlı ve dar bir su yoludur. Bu su yolu bu özelliğinin yanında Karadeniz'i diğer denizlere bağlayan tek geçiş noktasıdır. Akdeniz'in tuzlu suları Karadeniz'e, Karadeniz'in daha az tuzlu ve zengin suları da Akdeniz'e bu kanal aracılığı ile ulaşmaktadır. Bu bölge ekolojik açıdan denge oluşturu bir etkiye sahip olmaktadır.

Bugün, Türk Boğazları'nda geçiş yapan uluslar arası deniz trafiğinin düzenlenmesi, uluslararası 1936 Montreaux Sözleşmesi hükümleriyle IMO kural ve tavsiyeleri

“1995/A.827(19)” ve Türkiye’nin ulusal yasalarının hükümleri doğrultusunda gerçekleştirilmektedir.

Karadeniz’e kıyısı olan 6 ülke ve Novorossiski ve Supsa gibi dünyanın önemli petrol terminalleri bu bölgede bulunmaktadır. Gelişen sanayi ve buna bağlı olarak ticaretin artması ile deniz taşımacılığında artmıştır. Buna bağlı olarak Boğazlar’dan geçen gemi sayısı da her geçen gün artmakta ve yılda ortalama 50000 adet gemi geçmektedir. Orta Asya petrollerinin Rusya’nın Novorossiski ve Gürcistan’ın Supsa limanlarından boğazlar yolu Akdeniz’e çıkartılmasının, boğazlara yapmış olduğu trafik baskısı her geçen gün artmaktadır. Bu petrol tankerlerinin her birinin taşıdıkları petrolün miktarı ve gemi boyları büyümektedir. İstanbul Boğazının dar ve kıvrımlı olması görüş mesafesinin uygun olmaması ve değişken akıntı etkisi gemi geçişlerini ve trafiği olumsuz yönde etkilemektedir. Seyrin bu kadar zor olduğu bu bölgede gemi kaza riskinin her zaman yüksek olduğu bilinmektedir.

Ekolojik açıdan farklı yapılara sahip olan denizleri birbirine bağlayan İstanbul Boğazı bir çok deniz canlısı için bir göç yolu olma özelliği ile de önem taşımaktadır. Bu bölgede oluşabilecek gemi kazaları ve sonrasında deniz kirliliği deniz memelileri ve deniz kuşları başta olmak üzere tüm deniz canlılarını olumsuz yönde etkileyecektir. Deniz canlılarının bu su yolunu kullanamamaları sonucunda boğazın her iki yakasında besin piramidini olumsuz yönde etkilemeye varan sonuçlar meydana gelecektir.

Boğazın Avrupa ve Asya yakalarında kurulmuş olan, İstanbul şehri 13 milyon insanın yaşadığı tarihi kültürel oluşumları içinde bulunduran bir şehirdir. Boğaz’da oluşacak bir tanker kazası sonrasında meydana gelecek petrol dağılımının bilinmesi ve buna uygun müdahale yöntemlerinin kullanılması önemlidir.

Bu çalışmada, İstanbul Boğazı’nda oluşabilecek tanker kazaları ve sonrasında ortama dökülecek petrolün zaman karşı yayılım miktarı belirlenmeye çalışılmıştır. Bununla birlikte akıntı ve rüzgar gibi çevresel farklılıkların dağılıma etkileri belirlenerek nihai dağılım tespit edilmiştir. Bu dağılım esnasında hızlı ve doğru müdahale yöntemlerinin belirlenmesine amaçlanmıştır.

Bu araştırma ile, İstanbul Boğazı gibi çevresel açıdan önemli, yoğun trafik baskısı ve kaza riski olan su yolunda petrol dağılımı ile bilimsel yaklaşımda bulunulmuştur. Çalışmanın yapılmasında elde edilecek faydalar şöyle sıralanabilir;

- Boğazda petrol dağılımı ile ilgili petrol kirliliği önleme ekipmanlarının bulunması gereken uygun yerlerin tespiti,

- Gemi kazaları sonrasında oluşacak petrol dağılımı zamansal ve alansal dağılımının tespiti,
- İstanbul Boğazı'nda petrol kirliliği sonrasında kullanılacak ekipmanlar ve mücadele şekilleri belirlenmesi,
- İstanbul Boğazı'ndaki değişken akıntı ve çevresel etkilerin kazalar sonrasında petrol dağılımı,



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

İstanbul Boğazı'ndaki tanker kazaları sonrasında oluşabilecek petrol dağılımını bulmak için yüzey akıntısının belirlenmesi en önemli değişkenlerden biridir. Akıntının belirlenmesi için Princeton Okyanus Modeli (POM) kullanılmıştır. Elde edilen akıntı modeli National Oceanography and Atmospheric Administration (NOAA)'ın hazırlamış olduğu General NOAA Oil Modeling Environment (GNOME™) modeline uygulanmıştır. Dağılımın zamana ve değişen rüzgar yön ve şiddetine göre alacağı şekiller tespit edilmiştir. Elde edilen bu petrol dağılımına karşı uygulanacak olan acil müdahale şekilleri ve mevkileri tespit edilmiştir.

2.1. Princeton Okyanus Modeli (POM)

Alan Blumberg ve George Mellor tarafından 1970'li yıllarda bir nümerik okyanus modeli oluşturuldu. Modelin geliştirilmesi Leo Oey, Jim Herring, Lakshmi Kantha, Boris Galperin ve diğerleri tarafından yapılan katkılar ile olmuştur. Daha sonra kuramsal olarak model, Princeton Üniversitesi'nin Atmosferik ve Oşinografik Bilimler Programı'nda ilgili problemlere uygulandı ve geliştirildi. Aynı zamanda, model NOAA'nın Jeofiziksel Akış Dinamikleri Laboratuvarı (GFDL)'nda da uygulanmıştır (Mellor, 1996).

Model genellikle Princeton Okyanus Modeli (POM) olarak adlandırılmaktadır. Mellor (1996) tarafından yapılan yayına göre bu modelin temel nitelikleri aşağıdaki gibidir:

- Düşey karışım katsayılarını sağlamak için 2. seviyede bir türbülans yaklaşım alt modeli içermektedir.
- Su sütunu derinliğinde düşey koordinattaki ölçeklendirme sigma koordinat modeline göre yapılmıştır.
- Yatay olarak gridlendirmede ise eğrisel koordinat sistemi ve "Arakawa C" gridlendirme şeması kullanılmıştır.
- Yatay zaman ayrıklaştırılması explicit olarak, bunun aksine düşey zaman aralandırılması implicit olarak yapılmıştır. İkinci olarak verilen düşey koordinat

zaman zorlamasını yok ederek, yüzey ve taban sınır tabakalarında iyi bir düşey çözünürlük kullanımına izin verir.

- Model serbest bir yüzeye ve iki ayrı zaman adımına sahiptir. Modelin dış mod bölümü iki boyutludur ve bu mod Courant – Friedrichs – Levy (CFL) koşuluna ve dış dalga hızına bağlı olarak kısa zaman adımı kullanır. İç mod kısmı ise 3 boyutlu ve iç dalga hızı ile CFL koşuluna bağlı olarak uzun zaman adımı kullanır.
- Bütün termodinamikler modelde yerine getirilmektedir.

Türbülans yaklaşım alt modeli Mellor (1973)'un yayınında açıklanmıştır ve daha sonra Tetsuji Yamada işbirliği ile önemli derecede ilerletilmiştir (Mellor ve Yamada, 1974). Bu modele literatürde genellikle Mellor – Yamada türbülans yaklaşım modeli olarak yer verilmiştir. Burada $2 \frac{1}{2}$ seviye modeli türbülans makro ölçeği için bir prognostik eşitlik ile beraber kullanılmaktadır. POM'un yazılım programında yaklaşım modeli, PROFQ ve ADVQ alt programlarında yer almaktadır.

Genel olarak, türbülans model çok sığ sularda karışım tabakası derinliklerinin bir dereceye kadar hesaplandığını göstermesine rağmen karışım tabakası dinamiğini doğru bir şekilde benzetim modeli uyguladığı görülmektedir. En azından noksanlığın bir kısmı içsel dalga hızı kaymalarından dolayı olmaktadır. Ayrıca, rüzgar zorlaması geçici ve konumsal olarak düzgünleştirilebilir. Bilinir ki, daha sonraki süreç karışım tabakası kalınlıklarını azaltacaktır.

Sigma koordinat sistemi önemli topoğrafik değişimleri (Örneğin, nehir ağızlarında veya kıta sahanlığı bölgelerinde karşılaşılan eğimler ve çukurlar) veren gerekli bir niteliktir. Türbülans alt model ile birlikte model, kıyusal sularda ve gelgit etkili nehir ağızlarında önemli olan gerçekçi taban sınır tabakalarını meydana getirir (Mellor vd., 1998).

Model serbest bir yüzeye sahip olduğu için sığ suları ve nehir ağızlarını simule edebilir. Son zamanlarda daha çok Mellor ve arkadaşları derin su oluşum süreçleri için taban sınır tabakalarının önemli olduğunu bulmuştur (Mellor ve Blumberg, 1985).

Yatay olarak sonlu fark şeması karışık, olarak düzenlenir ve literatürde Arakawa -C grid olarak adlandırılır. Yatay olarak grid eğrisel bir koordinat sistemidir ve özel bir durum olarak doğrusal koordinat sistemi de modele kolayca uygulanabilir. Adveksiyon, yatay difüzyon ve hız olduğu takdirde, basınç gradyanı ve Coriolis terimleri ADVT, ADVQ, ADVCT, ADVU, ADVV ve AVAVE alt programlarında yer almaktadır. Yatay olarak gridlendirme ana ve alt programların mantık akışını etkilemeyecek şekilde değiştirilebilir.

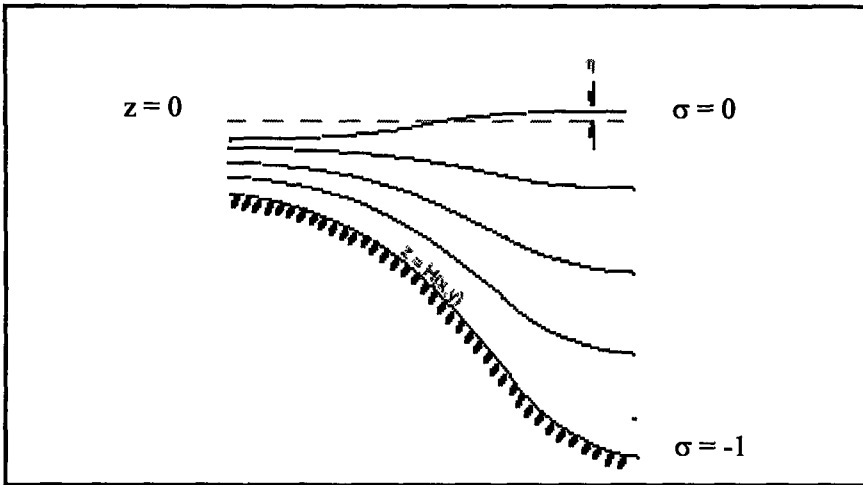
Düşey olarak difüzyon PROFIT, PROFQ, PROFU ve PROFV alt programlarında yer almaktadır.

Bu model hiç değişim yapılmaksızın çalıştırıldığında, sıfır rüzgar gerilmesi, sıfır sıcaklık ve tuzluluk akışı (sabit tuzluluk) kabulleri ile bir deniz tepesi üzerinde doğudan batıya olan akışın simülasyonunu yapmaktadır. Program ek bir veri gerektirmeksizin çalışabilir. Açık sınır koşulları SUBROUTINE BCOND alt programında belirtilmektedir. Program, kullanıcıların kendi problemlerini bulması için topoğrafyalarını, yatay gridlerini (doğrusal; burada $DX(I, J)$ I'nın bir fonksiyonu olarak $DY(I, J)$ J'nin bir fonksiyonu olarak belirtildi veya daha çok genelde ortogonal eğrisel grid olarak) düşey sigma gridini ve açık sınır koşullarının tanımlanmasını kullanıcıya bırakmaktadır.

Kullanıcılar temelde ana programı ve BCOND alt programını değiştirmeye ihtiyaç duyabilmektedir. Fakat diğer alt programların hiçbirini değiştirmeye ihtiyaç yoktur. Programın yazılım kodu Standart Fortran 77'dir. Kullanıcılar sadece kendi kodunda başlangıç koşulları ile yanal ve yüzey sınır koşullarını yazmaya ihtiyaç duyacaklardır.

2.1.1. Temel Eşitlikler

Sigma koordinat sisteminde temel eşitlikler Şekil 13'de verilmiştir. Mellor ve Blumberg (1985) yayınına göre gerekli dönüşümler yapılarak gibi sigma koordinat eşitlikleri türetilmiştir .



Şekil 13. Sigma koordinat sistemi

$$x^* = x, y^* = y, \sigma = \frac{z - \eta}{H + \eta}, t^* = t \quad (1)$$

Burada x, y, z geleneksel kartezyen koordinatlarıdır. $D \equiv H + \eta$ burada $H(x, y)$ dip topoğrafyasıdır ve $\eta(x, y, t)$ ise yüzey yükselmesidir. Bu nedenle $z = \eta$ da $\sigma = 0$ dan $z = -H$ da $\sigma = -1$ 'e kadar σ 'nın değer aralığı bulunur. Sigma koordinatlarına çevirdikten ve yıldız işaretlerinin atılmasından sonra temel eşitlikler yazılabilir (yatay kartezyen koordinatlarında):

$$\frac{\partial DU}{\partial x} + \frac{\partial DV}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial UD}{\partial t} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x} + \frac{\partial UVD}{\partial y} + \frac{\partial U\omega}{\partial \sigma} - fVD + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \\ \frac{gD^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^0 \left[\frac{\partial \rho'}{\partial x} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right] + F_x \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial VD}{\partial t} + \frac{\partial UVD}{\partial x} + \frac{\partial V^2 D}{\partial y} + \frac{\partial V\omega}{\partial \sigma} + fUD + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \\ \frac{gD^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^0 \left[\frac{\partial \rho'}{\partial y} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial y} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right] + F_y \end{aligned} \quad (4)$$

$$\frac{\partial TD}{\partial t} + \frac{\partial TUD}{\partial x} + \frac{\partial TVD}{\partial y} + \frac{\partial T\omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial T}{\partial \sigma} \right] + F_T - \frac{\partial R}{\partial z} \quad (5)$$

$$\frac{\partial SD}{\partial t} + \frac{\partial SUD}{\partial x} + \frac{\partial SVD}{\partial y} + \frac{\partial S\omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right] + F_S \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2 D}{\partial t} + \frac{\partial Uq^2 D}{\partial x} + \frac{\partial Vq^2 D}{\partial y} + \frac{\partial \omega q^2}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_q}{D} \frac{\partial q^2}{\partial \sigma} \right] \\ + \frac{2K_M}{D} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^2 \right] + \frac{2g}{\rho_0} K_H \frac{\partial \tilde{\rho}}{\partial \sigma} - \frac{2Dq^3}{B_1 l} + F_q \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2 l D}{\partial t} + \frac{\partial Uq^2 l D}{\partial x} + \frac{\partial Vq^2 l D}{\partial y} + \frac{\partial \omega q^2 l}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_q}{D} \frac{\partial q^2 l}{\partial \sigma} \right] \\ + E_1 l \left(\frac{K_M}{D} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^2 \right] + E_3 \frac{g}{\rho_0} K_H \frac{\partial \tilde{\rho}}{\partial \sigma} \right) \tilde{W} + F_l \end{aligned} \quad (8)$$

Diğer bölümlerde değişkenlerin açıklamaları yer almaktadır. ω ; dönüştürülmüş düşey hızdır. Fiziksel olarak, ω sigma yüzeylere normal düşey hız bileşenidir. Kartezyen düşey hıza dönüşüm şu şekildedir:

$$W = \omega + U \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) + V \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) + \sigma \frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial \eta}{\partial t} \quad (9)$$

Duvar civarı fonksiyonu $\tilde{W} = 1 + E_2 (1 / k L)^2$ a göre tanımlanır. Burada $L^{-1} = (\eta - z)^{-1} + (H - z)^{-1}$.

(3) ve (4) eşitliklerinde RMEAN, BAROPG alt programında integrasyon tamamlanılmadan önce ρ dan ρ' şekline dönüştürülebilir. RMEAN genellikle z seviyesinde ortalaması alınan ve daha sonra sigma koordinatlarına dönüştürülen başlangıç yoğunluk alanıdır. Bu işlem dik topoğrafya üzerindeki sigma koordinattaki basınç gradyanı teriminin hesabıyla ilgili olan kesme hatalarını azaltabilir (Mellor, 1996). Yatay viskozite ve difüzyon terimleri şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$F_x \equiv \frac{\partial}{\partial x} (H \tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (H \tau_{xy}) \quad (10)$$

$$F_y \equiv \frac{\partial}{\partial x} (H \tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y} (H \tau_{yy}) \quad (11)$$

$$\tau_{xx} = 2 A_M \frac{\partial U}{\partial x}, \tau_{xy} = \tau_{yx} = A_M \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right), \tau_{yy} = 2 A_M \frac{\partial V}{\partial y} \quad (12 \text{ a, b, c})$$

$$F_\phi \equiv \frac{\partial}{\partial x} (H q_x) + \frac{\partial}{\partial y} (H q_y) \quad (13)$$

$$q_x \equiv A_H \frac{\partial \phi}{\partial x}, q_y \equiv A_H \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad (14 \text{ a, b})$$

Burada ϕ , T , S , q^2 veya $q^2 l$ terimlerini temsil eder. Bu yatay difüzyon terimleri geleneksel şekillerin sigma koordinat sistemine dönüştürülmesi ile elde edilemezler. Kartezyen koordinatlarda izoterm ve izohalinler düz olduğunda, düşey akıları aynı seviyede olduğunu verir. Bu durumda (14 a, b) eşitlikleri için sigma koordinatlarda sıkıntılı durum oluşmaktadır. Bu durumu düzeltmek için hızlar az veya hiç olmadığında

ilk olarak Smagorinsky difüsitinin kullanımı yapılır. Burada hiç olmayan veya az olan hızlardan qx ve qy değerleri izah edilir. İkinci yapılan düzeltme şudur: (14 a, b) eşitlikleri sıcaklık ve tuzluluk için yerine getirilmeden önce ilk olarak T_{CLIM} ve S_{CLIM} terimlerine çevrilir. (10, 11) de ve (13)'de H , D 'nin yerine kullanılır. Küçük basit algoritmalar için terimlerin fiziksel anlamları şüpheli olduğu için H önerilmektedir (Mellor, 1996).

2.1.1.1. Smagorinsky Difüsivite

Genellikle bir sabit veya biharmonik difüzyon yerine kullanılmasına rağmen yatay difüzyon için Smagorinsky difüsivite kullanılır. Smagorinsky'nin formülü şu şekildedir:

$$A_M = C \Delta x \Delta y \frac{1}{2} |\nabla V + (\nabla V)^T| \quad (15)$$

Burada, $|\nabla V + (\nabla V)^T|/2 = [(\partial u/\partial x)^2 + (\partial v/\partial x + \partial u/\partial y)^2/2 + (\partial v/\partial y)^2]^{1/2}$. C 'nin değer aralığı (HORCON parametresi) 0.10'dan 0.20'ye çok iyi çalıştığı görünür. Fakat eğer grid aralandırması yeterli küçüklükte ise C hiç olmayabilir (Oey vd., 1985a,b). Smagorinsky'nin avantajı C 'nin boyutsuz olmasıdır ve ilişkili avantajları şunlardır: Çözünürlük geliştikçe A_M azalır ve A_M ; eğer hız gradyanları küçük ise küçülür (Mellor, 1996).

2.1.1.2. Düşey Sınır Koşulları

(2) eşitliği için düşey sınır koşulları:

$$\omega(0) = \omega(-1) = 0 \quad (16 \text{ a,b})$$

(3) ve (4) için sınır koşulları ise şu şekildedir;

$$\frac{K_M}{D} \left(\frac{\partial U}{\partial \sigma}, \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right) = -(\langle wu(0) \rangle, \langle wv(0) \rangle), \sigma \rightarrow 0 \quad (17 \text{ a,b})$$

Burada (17 a, b)'nin sağ tarafı yüzey türbülanslı momentum akısının giriş verileridir (gerilme bileşenleri zıt işaretlidir) ve

$$\frac{K_M}{D} \left(\frac{\partial U}{\partial \sigma}, \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right) = C_z \left[U^2 + V^2 \right]^{1/2} (U, V), \sigma \rightarrow -1 \quad (17 \text{ c, d})$$

$$C_z = \text{MAX} \left[\frac{k^2}{(\ln \{(1 + \sigma_{kb-1})H / z_0\})^2}, 0,0025 \right] \quad (17 \text{ e})$$

$k = 0.4$ Von Karman sabitidir ve z_0 pürüzlülük parametresidir. (17 c, d, e) eşitlikleri duvar kanunun sayısal çözülmesine uyulması ile çıkarılabilir. Sayısal olarak bu eşitlikler tabana en yakın ilk grid noktalarına uygulanırlar (Blumberg, Mellor, 1983). Burada taban iyi çözülemez. $(1 + \sigma_{kb-1})H / z_0$ büyüktür. (5) ve (6) da sınır koşulları:

$$\frac{K_H}{D} \left(\frac{\partial T}{\partial \sigma}, \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right) = -(\langle w \theta (0) \rangle), \sigma \rightarrow 0 \quad (18 \text{ a,b})$$

$$\frac{K_H}{D} \left(\frac{\partial T}{\partial \sigma}, \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right) = 0, \sigma \rightarrow -1 \quad (18 \text{ c,d})$$

(7) ve (8) için sınır koşulları;

$$(q^2(0), q^2 l(0)) = (B_l^{2/3} u_\tau^2(0), 0) \quad (19 \text{ a,b})$$

$$(q^2(-1), q^2 l(-1)) = (B_l^{2/3} u_\tau^2(-1), 0) \quad (19 \text{ c,d})$$

şeklindedir.

Burada B_l , türbülans yaklaşım sabitlerinden biridir ve u_τ nitelendirildiği gibi tepede veya tabanda sürtünme hızıdır (Blumberg ve Mellor, 1983).

2.1.1.3. Düşeyde Entegre Edilen Eşitlikler

Kıyısız sirkülasyon dinamiğinin hakim olduğu eşitlikler, hızlı hareketli dışsal gravite dalgası ve yavaş hareketli içsel gravite dalgası içerir. Düşey eşitlik yapısından

(internal mod) düşey olarak entegre edilen eşitliklere ayrılması (external mod) bilgisayarı ekonomik yapmasından dolayı arzu edilir. Ayırma modu olarak bu teknik, termodinamik özellikler ve hızın 3 boyutlu hesaplanmasından ayrıcalıklı olarak hız taşınımının çözülmesi ile serbest yüzey yükseltisinin hesaplanmasına izin verir. Tüm derinlikte internal mod eşitliklerin entegre edilmesi ile external mod eşitlikleri elde edilir. O suretle tüm düşey yapıda hız taşınımı ihmal edilir (Mellor, 1996). Bu nedenle eşitlik (2)'nin $\sigma = -1$ den $\sigma = 0$ 'a entegre edilmesiyle ve (16) sınır koşullarının kullanılması ile yüzey yükseltisi için bir eşitlik yazılabilir:

$$\frac{\partial \bar{U}D}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}^2 D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{U}\bar{V}D}{\partial y} - \bar{F}_x - f\bar{V}D + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} = -\langle wu(0) \rangle + \langle wu(-1) \rangle + G_x - \frac{gD}{\rho_0} \int_{-1}^0 \int_{\sigma} \left[D \frac{\partial \rho'}{\partial x} - \frac{\partial D}{\partial x} \sigma' \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma} \right] d\sigma' d\sigma \quad (20)$$

$$\frac{\partial \bar{V}D}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}\bar{V}D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V}^2 D}{\partial y} - \bar{F}_y + f\bar{U}D + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} = -\langle wv(0) \rangle + \langle wv(-1) \rangle + G_y - \frac{gD}{\rho_0} \int_{-1}^0 \int_{\sigma} \left[D \frac{\partial \rho'}{\partial y} - \frac{\partial D}{\partial y} \sigma' \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma} \right] d\sigma' d\sigma \quad (21)$$

Burada:

$$\bar{U} \equiv \int_{-1}^0 U d\sigma \quad (22)$$

Rüzgar gerilmesi bileşenleri, $-\langle wu(0) \rangle$ ve $-\langle wv(0) \rangle$, ve taban gerilmesi bileşenleri; $-\langle wu(-1) \rangle$ ve $-\langle wv(-1) \rangle$ dir. $\tilde{F}_x$ ve $\tilde{F}_y$ nicelikleri şu formüllere göre belirlenir.

$$\bar{F}_x \equiv \frac{\partial}{\partial x} (H^2 \bar{A}_M \frac{\partial \bar{U}}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (H \bar{A}_M (\frac{\partial \bar{U}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{V}}{\partial x})) \quad (23 a)$$

$$\bar{F}_y \equiv \frac{\partial}{\partial y} (H^2 \bar{A}_M \frac{\partial \bar{V}}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial x} (H \bar{A}_M (\frac{\partial \bar{U}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{V}}{\partial x})) \quad (23 b)$$

Dispersiyon terimleri şu formüllere göre belirlenir:

$$G_x = \frac{\partial \bar{U}^2 D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{U} \bar{V} D}{\partial y} - \bar{F}_x - \frac{\partial \bar{U}^2 D}{\partial x} - \frac{\partial \bar{U} \bar{V} D}{\partial y} + \bar{F}_x \quad (24 a)$$

$$G_y = \frac{\partial \bar{U} \bar{V} D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V}^2 D}{\partial y} - \bar{F}_y - \frac{\partial \bar{U} \bar{V} D}{\partial x} - \frac{\partial \bar{V}^2 D}{\partial y} + \bar{F}_y \quad (24 b)$$

(24 a) ve (24 b)'deki " F " terimleri iptal edildiğinde A_M düşey olarak sabittir. Bununla beraber yatay olarak yayılımında düşey olarak değişim hesaplanabilmektedir. Aşağıdaki ayrıntılı olarak (20) ve (21)'in sağ tarafındaki tüm terimler her bir internal zaman adımında hesaplanmış ve daha sonra çoğu external zaman adımları boyunca sabit tutulmuştur (Mellor, 1996).

2.1.2. Fortran Sembolleri

FORTTRAN sembolleri Tablo 13'te listelenmiştir. Parantez içlerinde ise bağlı oldukları analitiksel semboller ile kısaca tarifleri bulunmaktadır. F , B ve boşluk son ekleri tabloda açık belirtilmemiştir. Bu son takılar (B, boşluk, F) pek çok değişkene ilave edilmiştir ve sırasıyla $n-1$, n ve $n+1$ zaman seviyelerini nitelendirirler (Mellor, 1996).

Sadeleştirilmiş şekilde program için akış şeması da Şekil 14'de verilmiştir. External mod hesaplanması ana programda kullanılmaktadır (Mellor, 1996).

UF ve VF değişkenleri U ve V'nin $n + 1$ zaman seviyesini nitelerler. Bununla beraber bilgisayar hafızasında saklamak için bunlar ayrıca sırasıyla T ve S için ve Q2 ve Q2L için $n + 1$ zaman seviyesini temsil etmede de kullanılırlar. Her bir temsil için UF ve VF hesaplanır hesaplanmaz zaman seviyesi ayarlanır. Şekil 14'de üstteki gösterim, kısa bir zaman adımı (DTE) kullanır; bunun aksine alttaki gösterim uzun bir zaman adımı (DTI) kullanır. External mod, öncelikle internal mod yüzey yükseltisini sağlar; bunun aksine internal mod, external mod için momentum adveksiyonunun integrallerini, yoğunluk integrallerini ve taban gerilmesini sağlar (Mellor, 1996).

Düşey olarak zamansal ortalama hızlar (UTF, VTF) ve bir önceki zaman adımındakiler (UTB, VTB), external değişkenlerinin (UA, VA) zaman ortalamalarıdır. Internal ve external modlar farklı kesme hatalarına sahiptir. Program bu nedenle internal hızları (U,V) düzeltir ve bunların düşey integralleri UTF, VTF ve UTB, VTB'nin ortalamalarıdır.

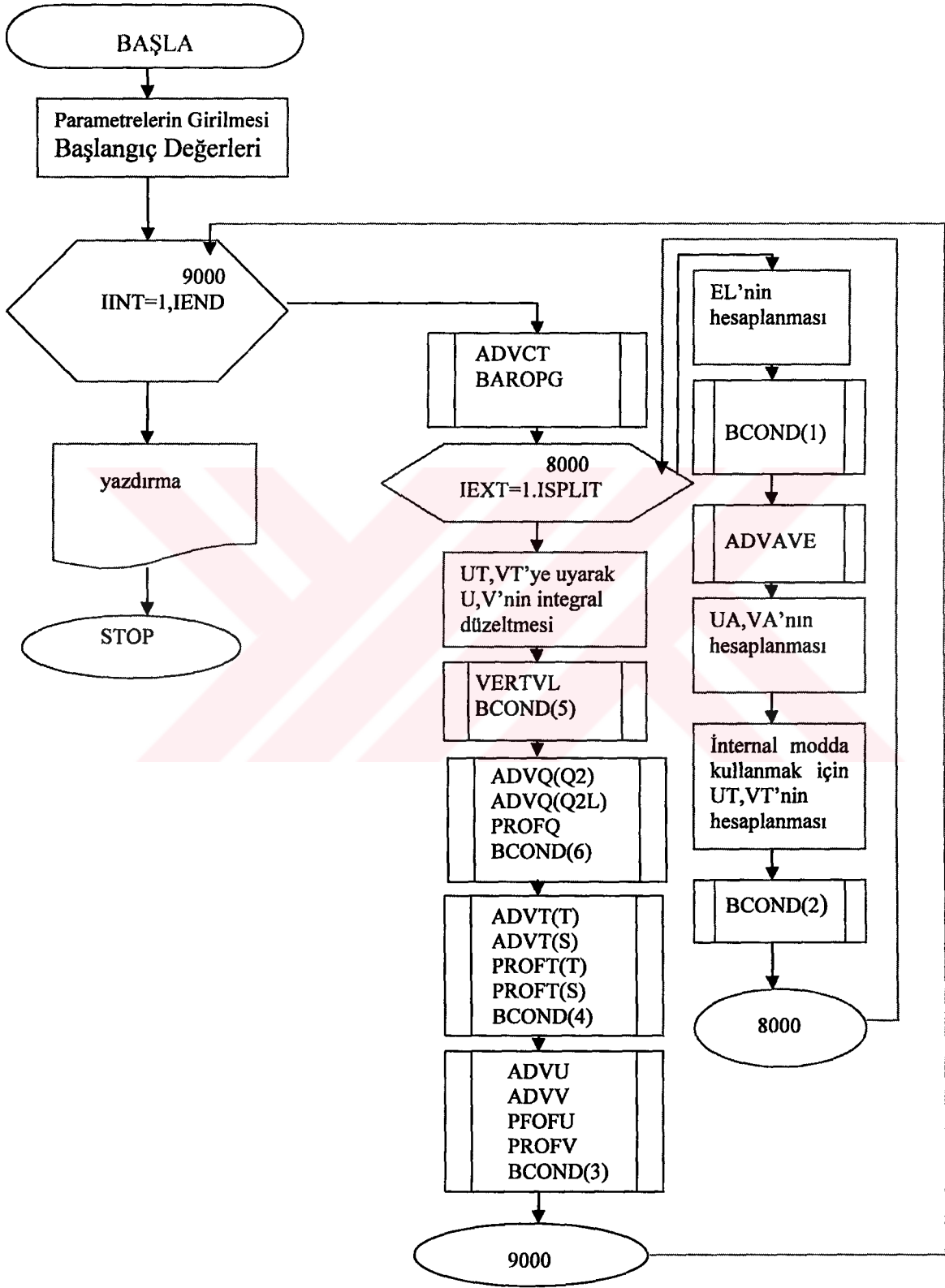
Tablo 13. Modelde kullanılan FORTRAN sembolleri

İndisler	
I, J (i, j)	Yatay grid indeksleri
IM, JM	I ve J'nin dış limitidir
K (k)	Düşey grid indeksidir. Tepede K =1 ve tabanda K = KB dir.
IINT (n)	İnternal mod zaman adım indeksi
IEXT	External mod zaman adım indeksi
Sabitler	
DTE (Δt_E)	External mod zaman adımı (s)
DTI (Δt_I)	İnternal mod zaman adımı (s)
HORCON (c)	Smagorinsky yayılım katsayısı
IEND	Toplam internal mod zaman adımları
IPRINT	Değişkenlerin yazdırılmasında IINT aralığıdır
ISPLIT	DTI / DTE
MODE	Eğer MOD=2 ise bir 2 boyutlu hesaplama uygulanıyor Eğer MOD=3 ise bir 3 boyutlu prognostik hesaplama uygulanıyor Eğer MOD=4 ise bir 3 boyutlu diagnostik hesaplama uygulanıyor
SMOTH (α)	Geçici düzgünleştirme parametresidir
TPRNI (AH/AM))	Ters çevrilmiş, yatay, türbülans Prandtl sayıdır.
TR	Kısa dalga yüzey geçirim katsayısıdır
Bir – İki – Üç Boyutlu Diziler	
Z (σ)	Z=0 (yüzey) ve Z=-1 (taban) aralığını içeren sigma koordinatları
ZZ	Z orta kısmındaki koordinat sistemi
DZ ($\delta\sigma$)	Z(K) – Z(K+1)
DZZ	ZZ(K) –ZZ(K+1)
ART, ARU, ARV	Sırasıyla T, U, V değişkenlerinde ortalaması alınmış hücre alanları (m^2)
AAM (AM)	Yatay kinematik viskozite (m^2/s)
AAH (AH)	Yatay ısı difüzivitesi (m^2/s)
ADVUA, ADVVA	20, 21 eşitliklerindeki 2., 3., 4. terimlerin toplamı
ADX2D, ADY2D	ADVX, ADVY'nin düşey integralleri ve 24 a,b'nin 4.,5., 6. terim toplamı
COR (f)	Coriolis parametresi (1/s)
CURV2D	CURV'un düşey ortalaması
DUM	Su üzerinde = 1, kara üzerinde = 0 olarak hızın u bileşenini saklar.
DVM	Su üzerinde = 1, kara üzerinde = 0 olarak hızın v bileşenini saklar.
DX (hx veya δx)	Grid aralığı (m)
DY (hy veya δy)	Grid aralığı (m)
EL (η)	External modda kullanılan yüzey yükseltisidir (m).
ET (η)	EL'den türetilen ve internal modda kullanılan yüzey yükseltisidir (m).
EG (η)	EL'den türetilen ve basınç gradyanı için internal modda kullanılan yüzey yükseltisidir.
D (D)	H + EL (m)
DT (D)	H + ET (m)
DRX2D, DRY2D	DRHOX ve DRHOY'un düşey olarak integralleri.
H (H)	Taban derinliği (m)

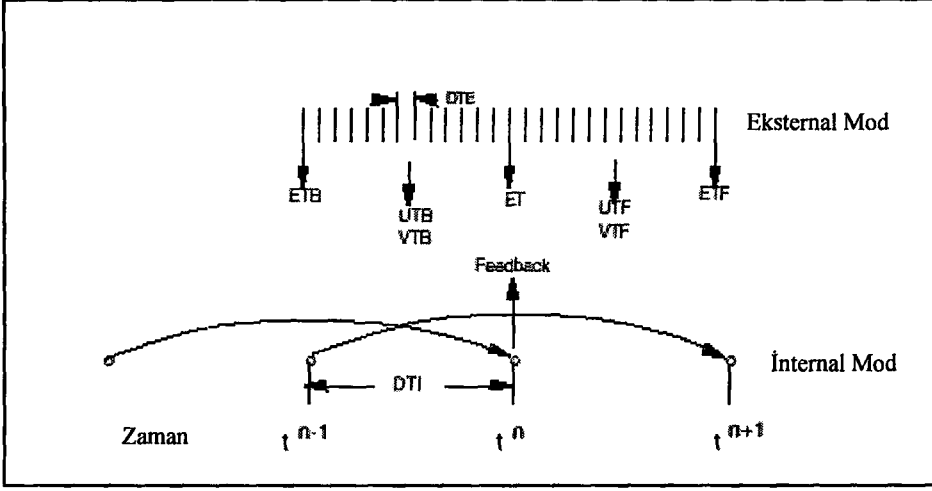
Tablo 13'ün devamı

SWRAD	Okyanus yüzeyine bağlı kısa dalga radyasyon (m/s K°)
UA, VA (u,v)	Düşey olarak u, v nin ortalaması (m/s)
UT, VT (u,v)	UA, VA'nın DTI aralığında zaman ortalaması (m/s)
WUSURF, WVSURF (<wu(0)>, <wv(0)>)	Yüzeyde momentum akılarıdır (m ² /s ²)
WUBOT, WVBOT (<wu(-1)>, <wv(-1)>)	Tabanda momentum akılarıdır (m ² /s ²)
WTSURF, WSSURF (<wθ(0)>, <ws(0)>)	Yüzeyde sıcaklık ve tuzluluk akılarıdır (m/sK°), (m/s psu)
ADVX, ADVY	Eşitlik 3 ve 4'deki yatay adveksiyon ve difüzyon terimleridir
CURV (f)	Bükülme terimleri
L(l)	Türbülans uzunluk ölçeği
KM(KM)	Düşey kinematik viskozite (m ² /s)
KH(KH)	Düşey yayılım (m ² /s)
DRHOX	İnternal baroklinik basınç gradyanının x bileşeni
DRHOY	İnternal baroklinik basınç gradyanının y bileşeni
RAD (R)	Kısa dalga boyulu radyasyon akısı (m/sK°). WTSURF ile isareti aynıdır.
Q2 (q ²)	İki kez türbülans kinetik enerji (m ² /s ²)
Q2L (q ² l)	Q2 x türbülans uzunluk ölçeği (m ² /s ²)
T (T)	Sıcaklık (°K)
S (s)	Tuzluluk (psu)
RHO	Yoğunluk (boyutsuz) (ρ/ρ ₀ -1.025)
U,V (u,v)	Yatay hızlar (m/s)
W (w)	Sigma koordinatta düşey hız (m / s)
RMEAN	Sigma koordinatlara dönüştürülmeden önce yatay olarak ortalaması alınmış yoğunluk alanlarıdır.
TCLIM	Yaklaşık olarak aynı T düşey yapıya sahip olan sabit sıcaklık alanı
SCLIM	Yaklaşık olarak aynı S düşey yapıya sahip olan sabit tuzluluk alanı

ETF; ELF'ye bağlı olarak alınır. Bir önceki adımda saklı tutulan ETB ile beraber internal hızlar ve ETF ve ETB tam olarak süreklilik eşitliği koşullarını yerine getirir. Aksi halde, T, S için sigma koordinat eşitlikleri güvenilir bir şekilde olmayacaktır. Yukarıdaki anlatılanlardan başka sayısal olarak önemli ayrıntılar şunlardır: $0.5 * (EGF + EGB)$, t^{n-1} , den t^{n+1} 'e internal mod zaman atlamaları için yükselme gradyanlarının elde edilmesinde kullanılır. EGF ve EGB sırasıyla t^n den t^{n+1} ve t^{n-1} den t^n 'e aralıklarda EL'nin ortalamalarıdır. Bu, barotropik dalga hızına bağlı olan CFL koşulundan muaf internal mod yapan bir yöntemdir. Burada hakim dalga hızı baroklinik dalga hızıdır.



Şekil 14. Programın akış diyagramı



Şekil 15. External ve internal modun etkileşiminin basitleştirilmiş gösterimi

2.1.3. Internal Mod Hesaplanmasının Yapısı

3 boyutlu değişkenlerin hesaplanması (internal) bir düşey difüzyon zaman adımına ve bir adveksiyona ilave olan yatay difüzyon zaman adımına ayrılır. İlk söylenilen zaman adımı implicittir (yüzey yakınında küçük düşey mesafelendirme sağlar). Bunun aksine 2. zaman adımı explicittir. Şimdi daha iyi açıklamak için bir sıcaklık denklemi düşünölsün:

$$\frac{\partial DT}{\partial T} + Adv(T) - Dif(T) = \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(K_H \frac{\partial T}{\partial \sigma} \right) - \frac{\partial R}{\partial \sigma} \quad (25)$$

Bu eşitlikte $Adv(T)$ ve $Dif(T)$ adveksiyon ve yatay difüzyon terimlerini gösterir. Çözüm iki adımda tamamlanır. Bu nedenle adveksiyon ve yatay difüzyon kısımları şu eşitliğe göre tanımlanmıştır:

$$\frac{D^{n+1}\tilde{T} - D^{n-1}T^{n-1}}{2\Delta t} = -Adv(T^n) + Dif(T^{n-1}) \quad (26)$$

Bu eşitlik SUBROUTINE ADVT ile çözülmektedir. Düşey difüzyon şu eşitliğe göre tanımlanmıştır:

$$\frac{D^{n+1}T^{n+1} - D^{n+1}\tilde{T}}{2\Delta t} = \frac{1}{D^{n+1}} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(K_H \frac{\partial T^{n+1}}{\partial \sigma} \right) - \frac{\partial R}{\partial \sigma} \quad (27)$$

Bu eşitlik ise SUBROUTINE PROF ile çözülmektedir. Ayrıca eşitlik (27)'in içindekiler açıklandığı gibi ilk olarak D^{n+1} 'e bölünmektedir. Bu alt programda T^{n-1} TB olarak saklanır, T^n de T olarak ve T^{n+1} 'de TF olarak saklanır (Mellor, 1996).

Sayısal olarak birbiri ardına atlayan zaman adımında, eski zaman adımlarındaki çözümler paralel zaman atlamalarındaki çözümlerden yavaşça farklılaşır. Bu keskin zaman ayırımı, aşağıdaki eşitliğe göre her bir zaman adımında zayıf bir filtre ile düzgünleştirilerek kaldırılmıştır.

$$T_s = T + \frac{\alpha}{2} (T^{n+1} - 2T^n + T^{n-1}) \quad (28)$$

Burada T_s düzgünleştirme çözümüdür. Sıkca $\alpha = 0.05$ olarak kullanılır. Bu teknik ya Euler geriye veya ileriye doğru adımlama tekniklerinden daha yavaşlatıcı olarak tanınır. Düzgünleştirme işleminden sonra T_s , T^{n-1} 'e ve de T^{n+1} , T^n 'e yerleştirilir.

2.1.3.1. Grid Düzenlenmesi

External mod için grid düzeninin dağılımı Şekil 16'de gösterilmektedir. Şekil 17'de de internal grid dağılımı gösterilmiştir. Bu diyagramlar PROF ve ADV alt programlarında ve ana programda yazılımı anlamada yararlı olacaktır. Grid bir ortogonal eğrisel grid olabilir. Sadece ihtiyaç olunan $h_x (= D_x(I,J))$ ve $h_y (= D_y(I,J))$ 'nin belirtilmesidir. Örneğin, eşitlik (5) veya eşitlik (26) deki Adv operatörü şu şekilde yazılabilir:

$$-Adv(T)h_xh_y = \delta_x(Dh_yUT) + \delta_y(Dh_xVT) + h_xh_y \frac{\delta_\sigma(\omega T)}{\delta\sigma} \quad (29)$$

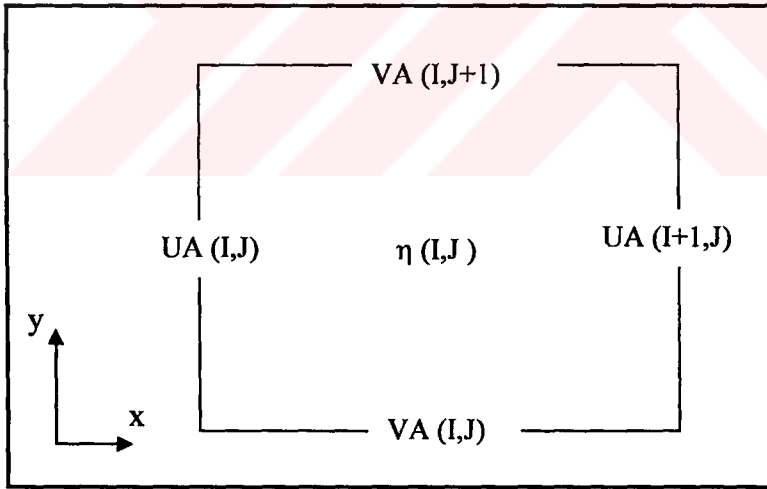
Bu nedenle Dh_yUT , T 'nin taşınımını ve δx bir hacim elemanının karşılıklı yüzeyleri arasındaki miktarı farkı göstermektedir. Farklama metodunun tamamını tanımlamak için ADVT alt programındaki yazılım listelemesine bırakılır. Fakat bu yol Coriolis ve bükülme terimlerini içerir:

$$-Adv(U)h_xh_y = \delta_x(Dh_yU) + \delta_y(Dh_xUV) + h_xh_y \frac{\delta\sigma(\omega U)}{\delta\sigma} - \tilde{f}VDh_xh_y \quad (30)$$

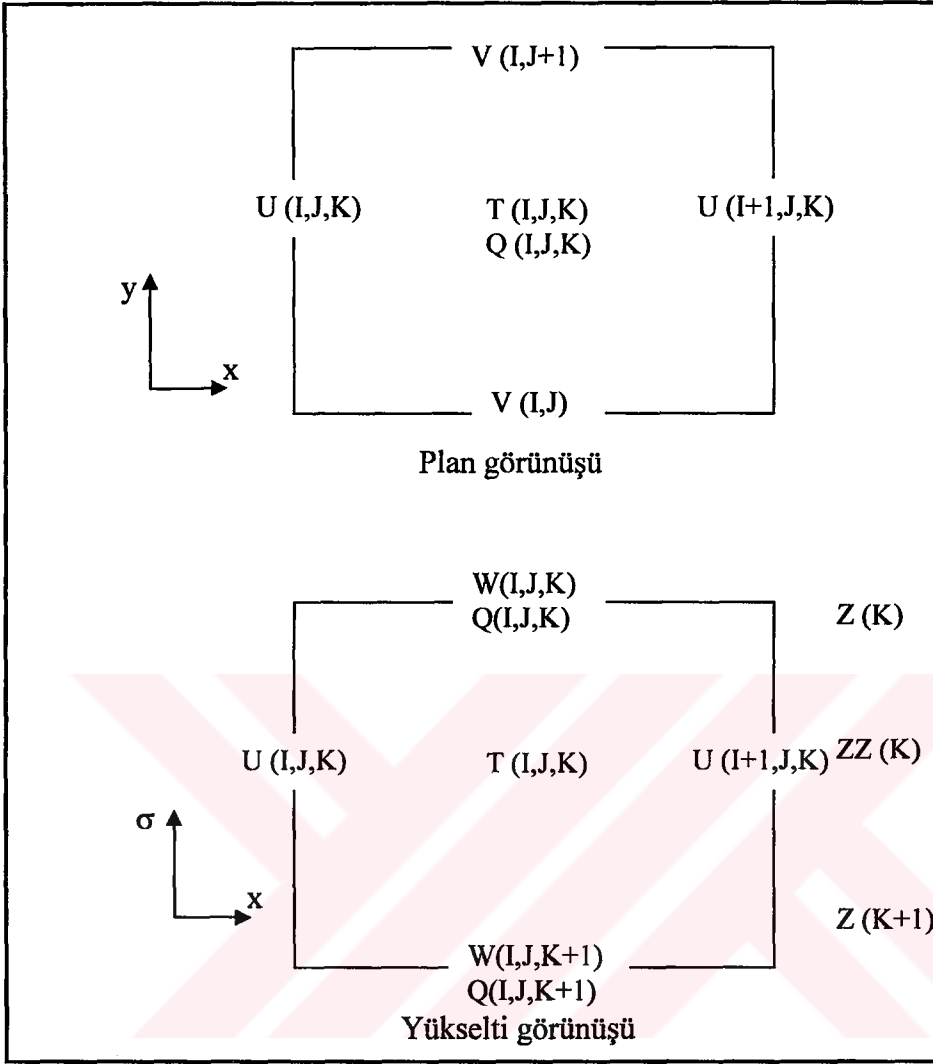
Burada;

$$\tilde{f} = \frac{V \delta_x(h_y)}{h_xh_y} + \frac{U \delta_x(h_x)}{h_xh_y} \quad (31)$$

bükülme terimidir. ADVCT; yatay adveksiyon, difüzyon ve bükülme terimini ADVU ve ADVV'nin ilerisinde daha iyi olarak (ADVX ve ADVY olarak saklandı) hesaplanmıştır. Şöyle ki; bunların düşey ortalamaları external mod hesaplamada kullanabilsin diye yapılmıştır. ADVU ve ADVV de basınç gradyanı, coriolis ve düşey adveksiyon ADVCT de belirtilen terimlerle beraber hesaba katılmıştır (Mellor, 1996).



Şekil 16. İki boyutlu external mod gridi



Şekil 17. Üç boyutlu internal mod gridi (Q ifadesi KM, KH, Q2 veya Q2L büyüklüklerini temsil etmektedir, T ifadesi ise T, S veya RHO'yu temsil etmektedir)

2.1.3.2. Zaman Adım Sınırlamaları

Düşey olarak integrasyon almada external modda, taşınım eşitliklerinde CFL hesaplama kararlılık koşulu, zaman adımını şu formüle göre sınırlandırır:

$$\Delta t_E \leq \frac{1}{C_t} \left| \frac{1}{\delta x^2} + \frac{1}{\delta y^2} \right|^{-1/2} \quad (32)$$

Burada $C_t = 2(gH)^{1/2} + U_{max}$; U_{max} ise varsayılan maksimum hızdır. Başka sınırlamalar da vardır. Fakat pratikte en güvenilir olanı CFL sınırlamasıdır (Hoffmann,

1989). Modelin zaman adımı genellikle bu sınırlamanın % 90'ı kadardır (Mellor, 1996). Zaman adımı kriteri, (32) eşitliği ile external mod için verilene benzetilirse;

$$\Delta t_I \leq \frac{1}{C_T} \left| \frac{1}{\delta x^2} + \frac{1}{\delta y^2} \right|^{-1/2} \quad (33)$$

Burada $C_T = 2C + U_{max}$ tır. C_T ise maksimum içsel gravite dalga hızıdır (en ağır moda bağlı olarak) ve genellikle 2 m/s mertebesinde. U_{max} maksimum advectif hızdır. Tipik kıyusal okyanus koşulları için zaman adımlarının oranı ($\Delta t_I / \Delta t_E = DTI/DTE$) sık sık bir 50 – 80 faktörü kadar veya daha büyüktür.

$$\Delta t_I \leq \frac{1}{4 A_H} \left| \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right|^{-1} \quad (34)$$

Dönme:

$$\Delta t_I < \frac{1}{f} = \frac{1}{2 \Omega \sin \Phi} \quad (35)$$

Burada A_H yatay yayılımdır. Ω dünyanın açısal hızıdır ve Φ enlemdir. (34) ve (35) eşitlikleri, (32) ve (33) eşitliklerine benzer olarak sınırlayıcı değildir (Mellor vd., 1998).

2.2. Taban Topografyası

Çalışmanın yapıldığı İstanbul Boğazı, Karadeniz'i Marmara Denizi'ne bağlayan dar bir su yoludur. POM modelinin çalıştırılması için gerekli olan dip topografyası çıkartılmıştır. Dip topografyasının çıkarılması için Boğaz 41 x 53 gride bölünerek 2173 noktada derinlikler Deniz Kuvvetleri Komutanlığı Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı'nın boğaza ait batimetrik haritaları kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen veriler Microsoft EXCEL® 2002 programında düzenlenmiştir. Tespit edilen bu derinliklere karşılık gelen koordinatlarla birlikte POM modelinde çalıştırılmak üzere veriler girilmiştir. İstanbul Boğazı'nın ortalama derinliği 35.8 m, en derin yeri 110 m ve

güney eşiği olan en sığ yeride 32 m'dir. Derinlik olarak Vaniköy'deki güney eşiği ve 61 m'lik kuzey eşiği arasında bulunan alan, düz bir yapıya sahip olmayıp girintili ve çıkıntılıdır.

2.3. NOAA Genel Petrol Çevre Modeli (GNOME™)

NOAA tarafından 1999 yılında geliştirilen GNOME™ petrol yayılımının zamansal ve alansal olarak dağılımını tespit etmeye yarayan bir simülasyondur (Anonymous, 2001a). Bu simülasyona rüzgar, akıntı, gelgit değerleri girildikten sonra petrolün yüzeydeki hareketini hesaplayarak sonuca gitmektedir (Anonymous, 2001b). Başar ve Köse (2003) bir tanker boşaltım deniz terminalinde yapmış oldukları çalışmada GNOME™ modelini kullanarak oluşabilecek petrol dağılımlarını tespit etmişlerdir.

2.3.1. İstanbul Boğazı'nın Sayısal Haritası

Simülasyonu çalıştırabilmek için çalışma alanı olan İstanbul Boğazı'nın Mercator projeksiyonlu deniz haritası kullanılmıştır (SHOD, 1997; SHOD, 1999; SHOD, 2000; SHOD, 2003). İstanbul Boğazı harita üzerinden AutoCat® programı kullanılmak suretiyle sayısal hale getirilmiştir. Enlem (Long) ve boylam (Lat) olarak sayısal hale getirilen Boğaz koordinatları GNOME™ harita giriş formatı olan BNA format hazırlanarak simülasyonda koşturulmuştur (Tablo 14).

Tablo 14. İstanbul Boğazı'nın koordinatları

İstanbul Boğazı	Haydarpaşa Mendirek	Haydarpaşa Dalgakıran
"2","1",4662	"2","1",7	"2","1",5
29.07281,40.95862	29.00216,41.01050	29.01283,40.99850
29.07227,40.95886	29.01000,40.99883	29.01883,40.99500
29.07191,40.95901	29.01300,40.99683	29.01933,40.99550
29.07148,40.95908	29.01350,40.99733	29.01333,40.99900
29.07115,40.95923	29.01050,40.99933	29.01283,40.99850
29.07074,40.95956	29.00266,41.01100	
29.07090,40.95985	29.00216,41.01050	
29.07146,40.95934		
29.07148,40.95945		
...		

İstanbul Boğazı'nın haritasının sayısallaştırılmasında 4662, Haydarpaşa Mendirek'te 7 ve Dalgakıran'da ise 5 koordinat noktası belirlenmiştir. Sayısallaştırılan harita GNOME™ simülasyonunda çalıştırıldıktan sonraki durumu Şekil 18'de gösterilmiştir.



Şekil 18. İstanbul Boğazı'nın sayısal haritası

2.3.2. Akıntı Verilerinin Simülasyonda Çalıştırılması

İstanbul Boğazı'nda değişken akıntıların belirlenmesi için kullanılan POM modeli yardımı ile akıntı modeli yapılmıştır. Elde edilen akıntı modeli GNOME™

simülasyonunda uygun formata çevrilerek Tablo 15’de görüldüğü üzere GridCur formatında programda koşturulmuştur. Veriler boğazı içine alan 78x110 luk bir matris oluşturulup 8580 adet akıntı verisi girilmiştir. Her koordinattaki Simülasyonda rüzgar verilmeden oluşan akıntının, boğazdaki vektörel hareketleri Şekil 19’da gösterilmiştir. Yüzey akıntıları her iki u^- v^- yönündeki akıntı hızları m/sn olarak girilmiştir. İki boyutlu olarak girilen bu akıntı modelinde yönler (-) ve (+) olarak belirtilmiştir.

Tablo 15. İstanbul Boğazı’nın akıntı formatı

İstanbul Boğazı Akıntısı 0 knot Rüzgar da		
[GRIDCUR]		
NUMROWS 110		
NUMCOLS 78		
LOLAT 40.960051		
HILAT 41.265308		
LOLONG 28.938513		
HILONG 29.198244		
row col u v		
1	1 -.13	.02
1	2 -.13	.02
1	3 -.13	.02
1	4 -.13	.02
1	5 -.13	.015
1	6 -.13	.015
1	7 -.13	.015
...		
...		

3. BULGULAR

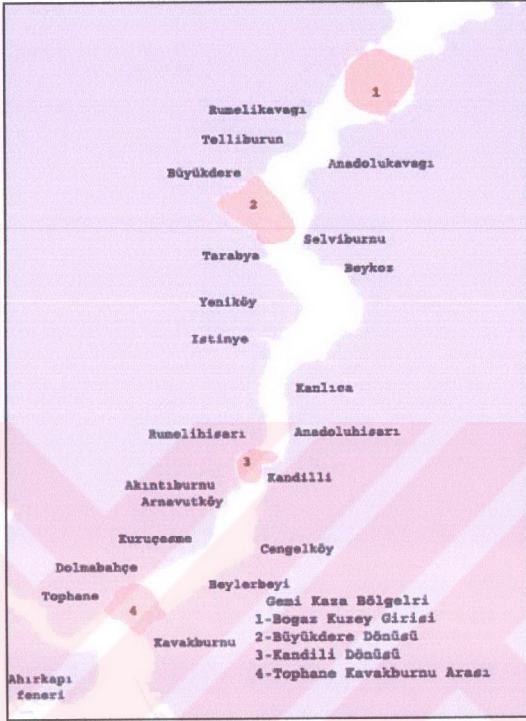
Bu çalışmada, İstanbul Boğazı'ndaki karaya oturma, çarpma ve çatışma türündeki kazaların istatistiki olarak yoğun olduğu bölgelerde benzetim modeli çalıştırılmıştır. Kaza riskinin fazla olduğu bu bölgelerde oluşabilecek tanker kazaları sonrasındaki petrol dağılımının simülasyonu yapılmıştır. Boğaz'daki egemen rüzgar yönlerinin kuzey, kuzey doğu, kuzey batı ve güney doğu yönlerinde olduğu bilinmektedir (Yeniçeri, 1994). Simülasyonun çalıştırıldığı bölgelerde egemen rüzgar yönleri olan kuzey doğu, kuzey batı ve güney doğu seçilmiştir. Bu rüzgar yönlerinde 3 knot ve 15 knot rüzgar şiddetleri uygun bulunmuştur. Bu simülasyonların 10, 20, 40 ve 60 dakika boyunca olan dağılımlar incelenmiştir. Simülasyonların çalıştırılması sırasında tüm senaryolarda 1000 metrik ton ham petrol gemiden sızdırılarak senaryolar koşturulmuştur.

3.1. Olası Kaza Bölgeleri

İstanbul Boğazı'nda çatma şeklinde meydana gelen gemi kazalarının yoğun olduğu yerler, % 26 Ahırkapı Feneri önleri ve % 18 Kız Kulesi Beşiktaş arasında kalan bölge olduğu bilinmektedir. Karaya oturmalar ise % 23'lük oranla Selviburnu önleri olduğu görülmektedir. Bununla birlikte % 55 gibi büyük bir oranla Arnavutköy ile Kandilli arasında kalan bölgede karaya çarpma söz konusudur (URL-4, 2003). İstanbul Boğazı'ndaki bu kaza alanları göz önünde bulundurularak 4 kaza bölgesi seçilmiştir. Seçilen bu alanlarda simülasyon çalıştırılmış ve Tablo 16'de bu alanların koordinatları verilmiştir. Simülasyonun çalıştırıldığı 4 bölge İstanbul Boğazı haritası üzerinde gösterilmiştir (Şekil 20).

Tablo 16. Simülasyonun çalıştırıldığı koordinatlar

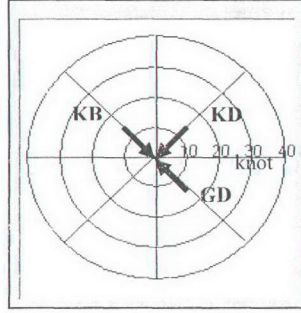
Kaza Alanları	Enlem	Boylam
1 Boğaz Kuzey Girişi	41° 12' 00" N	29° 06' 30" E
2 Büyükdere Dönüşü	41° 09' 26" N	29° 02' 56" E
3 Kandilli Dönüşü	41° 04' 43" N	29° 03' 00" E
4 Dolmabahçe Önleri	41° 02' 08" N	29° 00' 45" E



Şekil 20. Simülasyonun çalıştırıldığı kaza alanları

3.2. Rüzgar Yönleri ve Şiddetleri

İstanbul Boğazı'nda oluşan hakim rüzgarların yoğun olduğu kuzey doğu (KD), kuzey batı (KB) ve güney doğu (GD) yönünden esen rüzgarlarda senaryolar çalıştırılmıştır. Bununla birlikte 2 ayrı rüzgar hızı kullanılmıştır ki bunlarda 3 ve 15 knot olarak tespit edilmiştir (Şekil 21). İstanbul Boğazı'nın doğu batı yakasındaki tepe yükseltilerin çok oluşu rüzgarların boğaza geliş yön ve şiddetlerini sıkça değiştirdiği bilinmektedir.



Şekil 21. Rüzgar yönleri

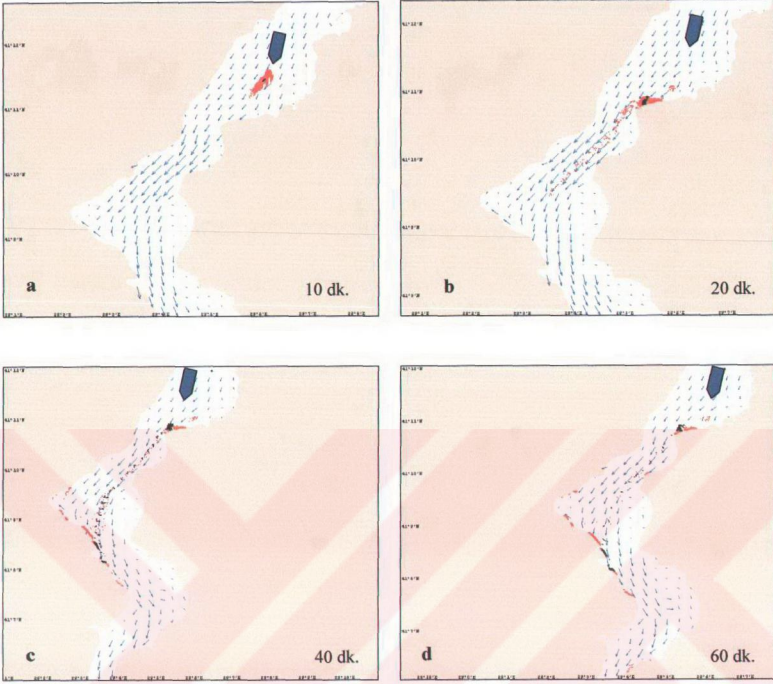
3.3. Boğaz Kuzey Girişi 1 Nolu Dağılım Senaryosu

İstanbul Boğazı'nın kuzey girişi kılavuz kaptan alma ve verme yeri olan ayrıca boğaz akıntısının başladığı bir bölgedir. Bu simülasyon 3 ayrı rüzgar yönü ve 2 ayrı hızda çalıştırılmıştır.

3.3.1. Rüzgar Şiddeti 3 knot

3.3.1.1. Rüzgar Kuzey Doğu Yönünden

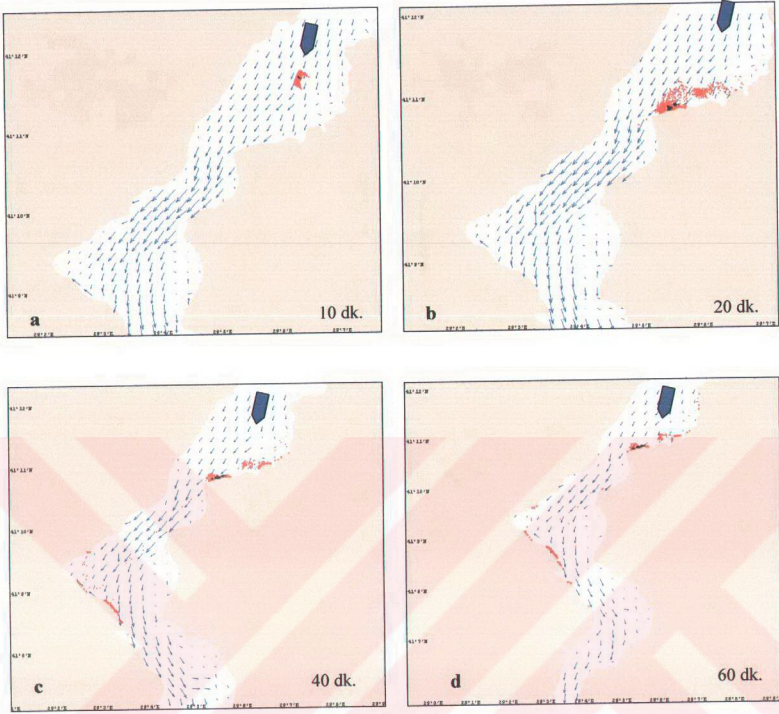
Kuzey doğu yönünde 3 knot şiddetinde esen rüzgar ile 10, 20, 40 ve 60 dakika sürelerle simülasyon çalıştırılmıştır (Şekil 22). Kaza sonrasında petrol dağılımı başlamasından 10 dakika içerisindeki dağılımın genişleme yönünde bir yayılım göstermediği tespit edilmiş, buna karşın akıntı ve kuzey doğu rüzgarı da etkisi ile boğaz boyunca hareketlendiği Şekil 22a'da görülmüştür. 20 inci dakikada ise Anadolukavağı önlerinde petrol birikiminin olduğu ve bir bölüm petrolünde buradan akıntı etkisi ile boğaz boyunca yayılımının sürdüğü görülmüştür (Şekil 22b). Şekil 22c'de görülen 40. dakika sonunda petrol dağılımı, Büyükdere önlerine gelerek buradaki dönüş noktası aynı zamanda türbülanslı bir bölge olan bu alana doğru hareket etmektedir. Boğaz boyunca akış sürerken Tarabya kıyılarında oluşan ters akıntı etkisiyle de bu kıyılarda yoğun olarak birikim olduğu tespit edilmiştir. Simülasyonu 60 dakika boyunca çalıştırılması sonucunda dağılımın en fazla Kanlıca kıyılarına kadar dağıldığı tespit edilmiştir (Şekil 22d).



Şekil 22. KD 3 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 1 nolu simülasyon

3.3.1.2. Rüzgar Kuzey Batı Yönünden

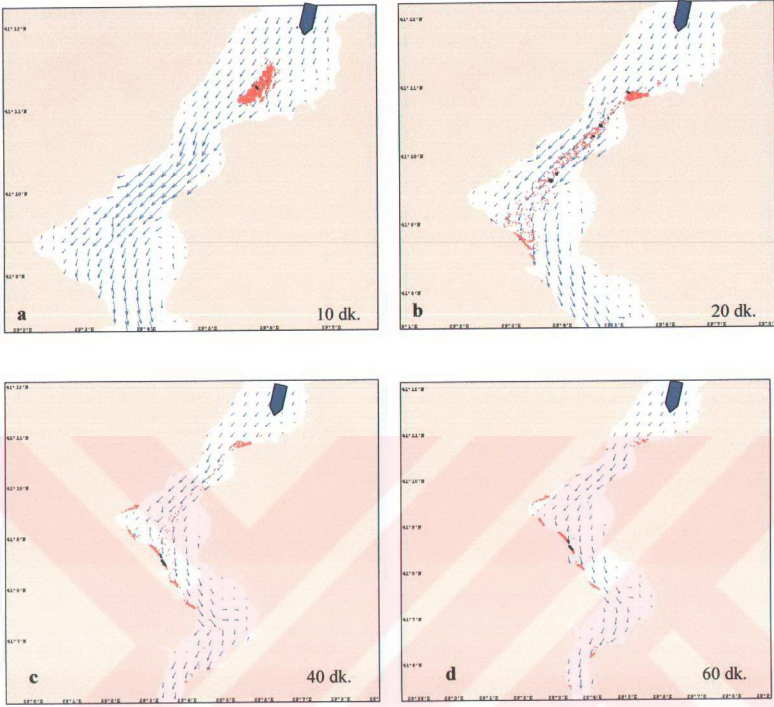
Rüzgar kuzey batı yönüne döndüğünde, yapılan simülasyon Şekil 23'de verilmiştir. Senaryoda ilk 10 dakika içerisindeki dağılımın az olduğu görülürken 20. dakikada ise Anadolukavağı'nın kuzey kıyılarında oluşan türbülanslı ve değişken akıntıların etkisi altına girdiği gözlenmiştir (Şekil 23a, b). Bir sonraki adım olan 40. dakikada ise dağılımın bir bölümünün bu alandan çıkarak Büyükdere dönüşüne kadar geldiği ve burada da oluşan ters akıntının etkisi ile de bu bölgedeki kıyılara yöneldiği tespit edilmiştir (Şekil 23c). Simülasyonun son adımı 60. dakikada ise geri kalan petrol Tarabya kıyılarına vurmuş ve çok az bir miktarda kalan petrol boğaz boyunca akıntı yönünde yoluna devam etmiştir (Şekil 23d).



Şekil 23. KB 3 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 1 nolu simülasyon

3.3.1.3. Rüzgar Güney Doğu Yönünden

Diğer senaryolarda olduğu gibi ilk 10 dakikada 3 knot lık rüzgarda dağılım farklılık göstermemiştir (Şekil 24a). 20. dakikada ise akıntı boyunca Büyükdere önlerine gelen petrole karşı çok az bir miktarda petrolün Rumelikavağı kıyılarına ulaştığı görülmüştür (Şekil 24b). Petrol 40. dakikada yoğun ve hızlı olarak Büyükdere ve Tarabya kıyılarına ulaşmaktadır (Şekil 24c). Son adım olan 60. dakika da ise dağılımın az da olsa İstinye koyuna kadar ulaştığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte Kanlıca kıyılarına da ulaştığı gözlenmiştir (Şekil 24d).

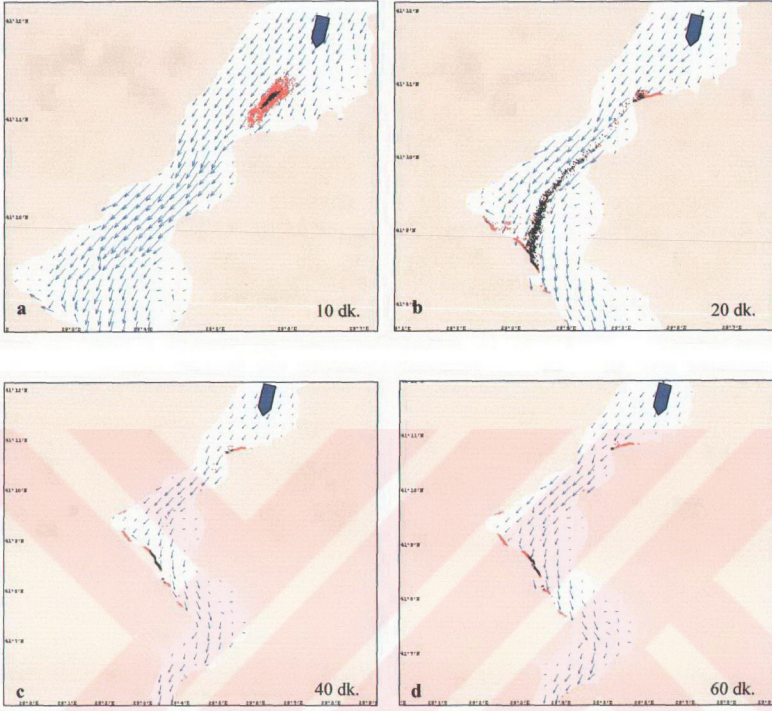


Şekil 24. GD 3 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 1 nolu simülasyon

3.3.2. Rüzgar Şiddeti 15 knot

3.3.2.1. Rüzgar Kuzey Doğru Yönünden

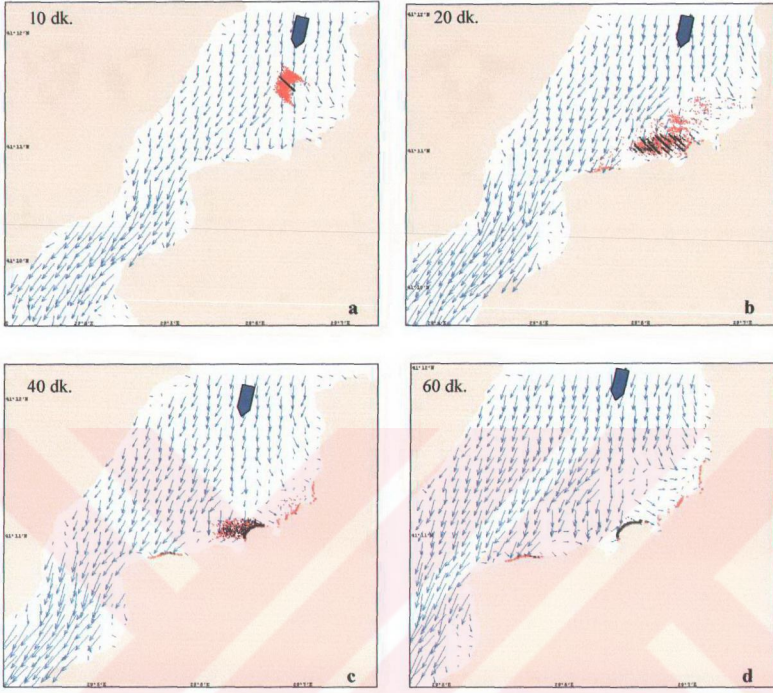
Rüzgar hızının bu senaryoda fazla olması nedeni ile ilk anda petrol hızlı bir şekilde Anadolukavağı burnuna gelmiştir. Bu anda yayılma başlamamıştır (Şekil 25a). Bir sonraki adım olan 20. dakikada ise rüzgarın hızı nedeni ile bir bölüm petrol Anadolukavağı kıyılarına ulaşırken büyük bir bölüm petrol Büyükdere sahiline ulaşmıştır (Şekil 25b). İlerleyen dakikalarda rüzgar hızının etkisinden dolayı petrolün hızla Tarabya ve Büyükdere önlerinde karaya ulaştığı görülmüştür (Şekil 25c, d).



Şekil 25. KD 15 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 1 nolu simülasyon

3.3.2.3. Rüzgar Kuzey Batı Yönünden

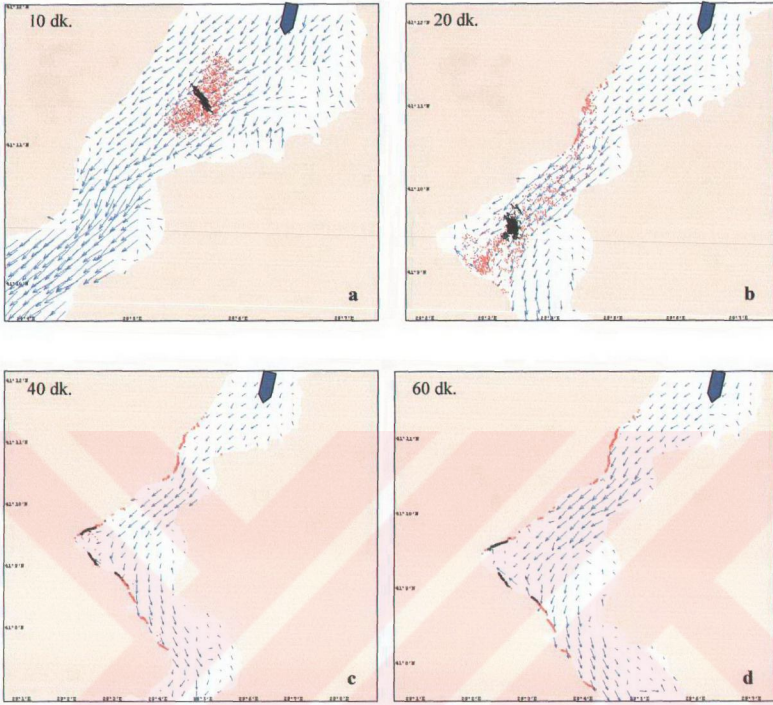
İlk 10 dakika da rüzgarın etkisiyle petrol Anadolukavağı'nın kuzeyine doğru hareket etmeye başlamıştır (Şekil 26a). İlerleyen petrol bu bölgede türbülanslı ve ters akıntı nedeniyle dağılmaya başlamıştır (Şekil 26b). Senaryonun 3. adımı olan 40. dakika da ise türbülansın etkisi ile Anadolukavağı'nın kuzey kıyılarına doğru hareket ettiği gözlenmektedir (Şekil 26c). Son adımda ise rüzgarın yön ve şiddetine bağlı olarak yayılan tüm petrol kıyıya ulaşmış ve bu bölgede toplanmıştır (Şekil 26d). Petrolün yoğun olarak kıyıda toplandığı görülmüştür.



Şekil 26. KB 15 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 1 nolu simülasyon

3.3.2.3. Rüzgar Güney Doğru Yönünden

Güney doğudan gelen güçlü rüzgarın petrolü yaymaya ve Rumelikavağı yönüne sürüklemeye başladığı görülmüştür (Şekil 27a). Rüzgarın akıntıya ters yönde olması akıntının hızını azalttığını göstermiştir. 20 inci dakikada ise akıntıya ters rüzgar etkisi ile petrolün alansal olarak genişleyerek yayılmaya başladığı görülmüş bununla birlikte Rumelikavağı ve Telliburun arasındaki kıyılara petrolün ulaştığı tespit edilmiştir (Şekil 27b). Aynı zamanda 20. dakikada Büyükdere önlerine de petrolün ulaştığı görülmüştür. Bir sonraki adım olan 40. dakikada ise Rumelikavağı'ndan Tarabya'ya kadar olan Boğazın batı kıyıların petrolün ulaştığı ve burada kaldığı tespit edilmiştir (Şekil 27c). Son adımda da petrolün aynı bölgede kaldığı görülmekle birlikte petrolün büyük bir kısmının Büyükdere kıyılarında toplandığı anlaşılmıştır (Şekil 27d).



Şekil 27. GD 15 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 1 nolu simülasyon

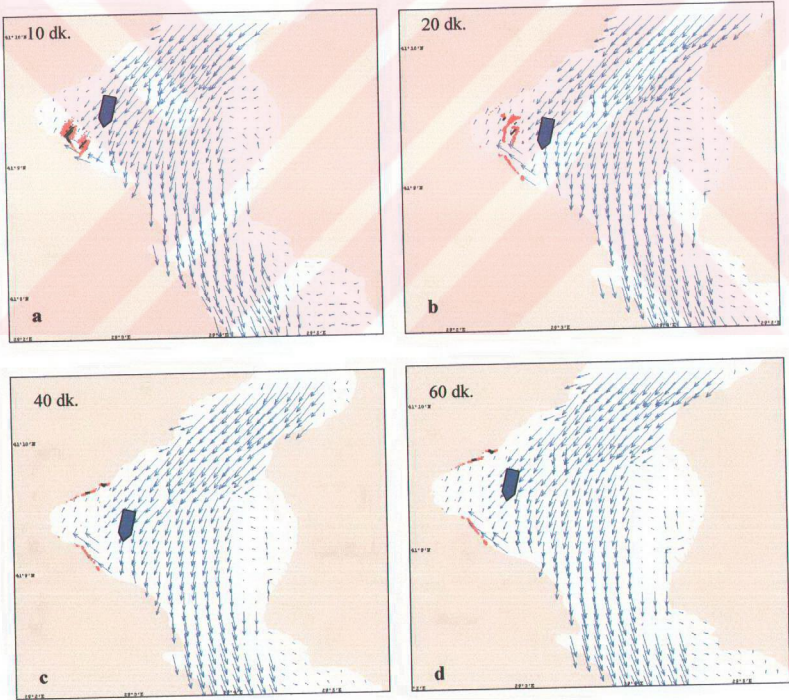
3.4. Büyükdere Dönüşü 2 Nolu Dağılım Senaryosu

Büyükdere dönüş noktası, akıntı ve dönüş açısının fazla olması nedeni ile gemilerin kaza yapma riskinin fazla olduğu ve seyir açısından zorluğu olan bir bölgedir. Selviburnu'nun kuzeyinde bulunan Umuryeri Banklığı'nda oluşan sığlık, bir çok gemi için seyir açısından oldukça riskli bir bölge oluşu nedeni ile önemlidir. Umuryeri Banklığı ve Büyükdere önlerindeki koylarda oluşan türbülanslar ve ters akıntıların oluşu bu bölgelerde dağılımı etkilemiştir görülmektedir. Bu bölgede 3 ayrı rüzgar yönünde ve 2 ayrı şiddette senaryolar çalıştırılmıştır.

3.4.1. Rüzgar Şiddeti 3 knot

3.4.1.1. Rüzgar Kuzey Doğu Yönünden

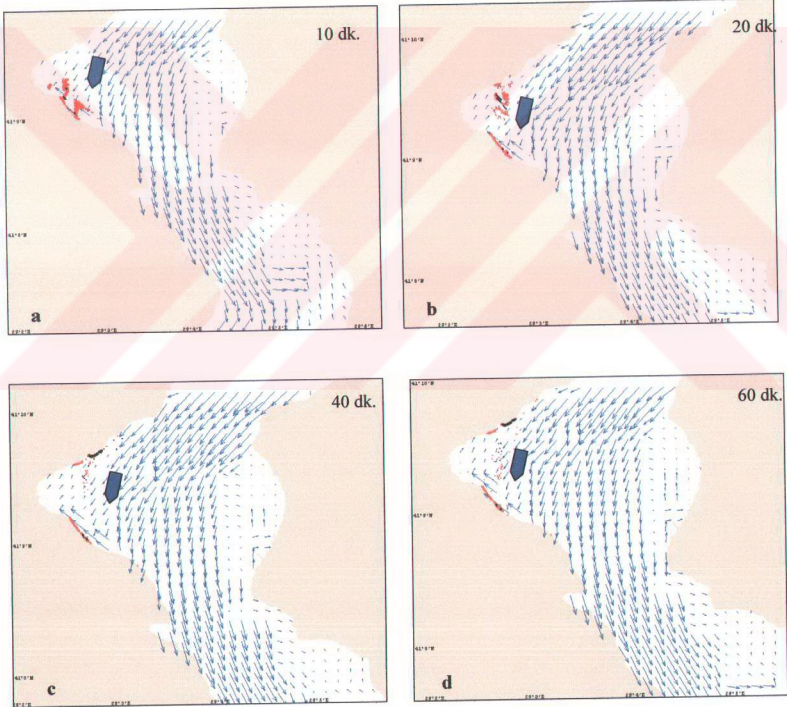
Büyükdere önlerinde yapılan kaza sonrasındaki dağılımın ilk adım olan 10. dakikada bölgedeki akıntının etkisine giren petrol yayılmaya başlayarak güney batı yönüne hareket ettiği görülmektedir (Şekil 28a). Simülasyonun ilerlemesiyle dağılan petrolün ters akıntı ve türbülans etkisi altına girdiği ve bir bölümünün de kuzey yöne doğru hareketlendiği tespit edilmiştir (Şekil 28b). Görülen bu dağılım 40.dakikada kıyıya ulaşmıştır (Şekil 28c). Simülasyonun 60. dakikasında Büyükdere'nin kuzey ve güney kıyılarına ulaşmış olan petrolün tümü burada sıkışmış burada oluşan girdaplar yardımıyla, özellikle her iki kıyı alanında bir çizgi gibi yayılmıştır (Şekil 28d).



Şekil 28. KD 3 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 2 nolu simülasyon

3.4.1.2. Rüzgar Kuzey Batı Yönünden

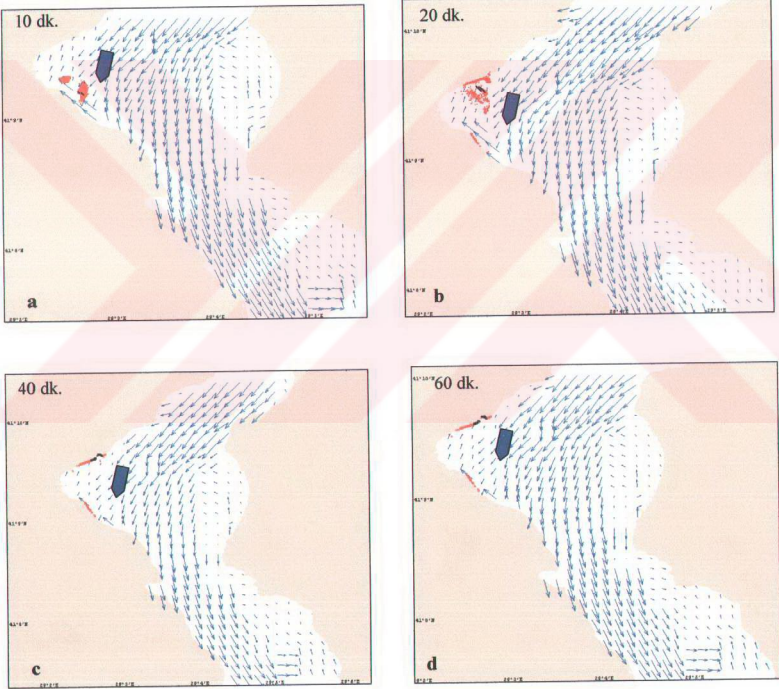
Büyükdere önlerinde yapılan simülasyonda rüzgarın etkisi ile kıyıya doğru dağılım başlamıştır (Şekil 29a). Kuzey batıdan gelen rüzgar etkisi ile ters akıntı ve türbülansa karşı bir akıntı kuvveti oluşmasına karşın rüzgarın hızının azlığı nedeniyle dağılım Büyükdere Koyu'nun kuzey ve güney kıyılarına doğru hareketlenmiştir (Şekil 29b). Zamanın ilerlemesiyle kıyılara ulaşan petrol rüzgar etkisiyle az miktarda da olsa bu koy içerisinde hareketli olduğu görülmüştür (Şekil 29c, d). Bu bölgedeki petrol dağılımı koy içerisinde kalmasına karşın çok az miktardaki petrolünde Tarabya kıyılarına ulaştığı tespit edilmiştir.



Şekil 29. KB 3 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 2 nolu simülasyon

3.4.1.3. Rüzgar Güney Doğu Yönünden

Rüzgar etkisinin güney doğu yönüne dönmesiyle petrol dağılımının ilk anda kuzey yöne doğru olmasına karşın, 2. adımda da görüldüğü gibi kuzey kıyılarına doğru yayılım göstermiştir (Şekil 30a, b). Zamanın ilerlemesi ile 3 adım olan 40. dakika da petrolün büyük bir bölümü Büyükdere'nin kuzey kıyılarına ulaşmış, daha az bir miktar petrol ise güney kıyılarına yönelmiştir (Şekil 30c). Son adımda da dağılımda değişiklik olmadığı ve petrol dağılımının ilk olduğu noktanın kuzey ve güneyine doğru olmak üzere 2 yöne yayılım gösterdiği görülmüştür (Şekil 30d).

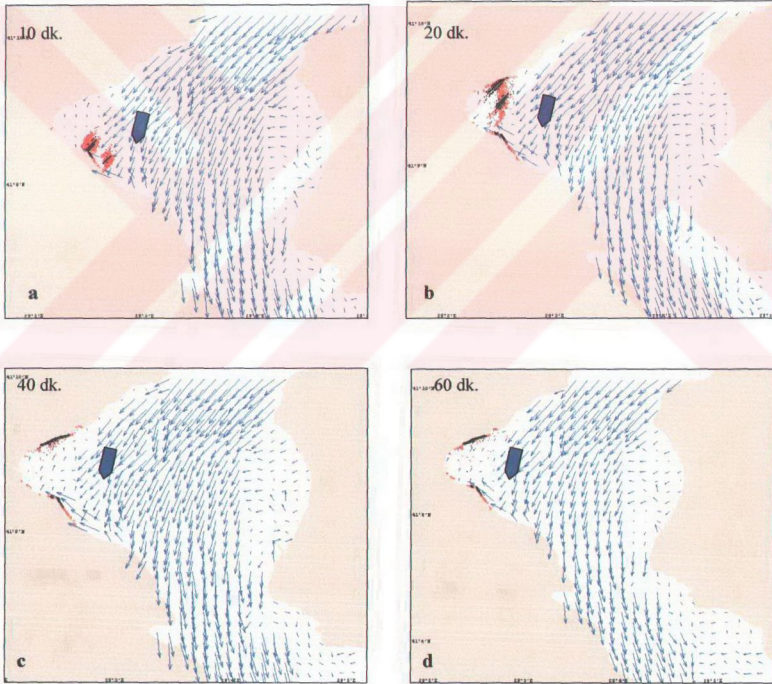


Şekil 30. GD 3 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 2 nolu simülasyon

3.4.2. Rüzgar Şiddeti 15 knot

3.4.2.1. Rüzgar Kuzey Doğu Yönünden

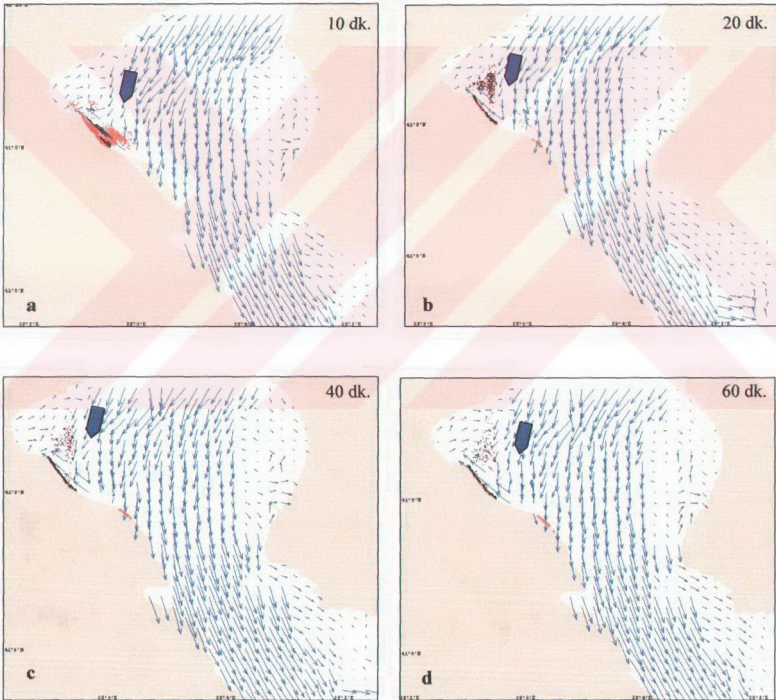
Rüzgar hızının fazla olması nedeni ile ilk 10 dakika içinde petrol dağılımı hızlı bir şekilde yayılmıştır görülmektedir (Şekil 31a). Rüzgarın kuzey doğulu olması ve hızı nedeniyle 2. adımda hızla kıyıya ulaştığı tespit edilmiştir (Şekil 31b). Aynı zamanda koy içerisinde geniş bir yayılım göstermiştir. Bununla birlikte 3. ve 4. adım olan 40 ve 60 dakikalarda petrol tamamıyla kıyıya vurmuş ve burada hemen hemen tüm kıyı alanı petrol ile kaplamıştır (Şekil 31c, d.)



Şekil 31. KD 15 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 2 nolu simülasyon

3.4.2.2. Rüzgar Kuzey Batı Yönünden

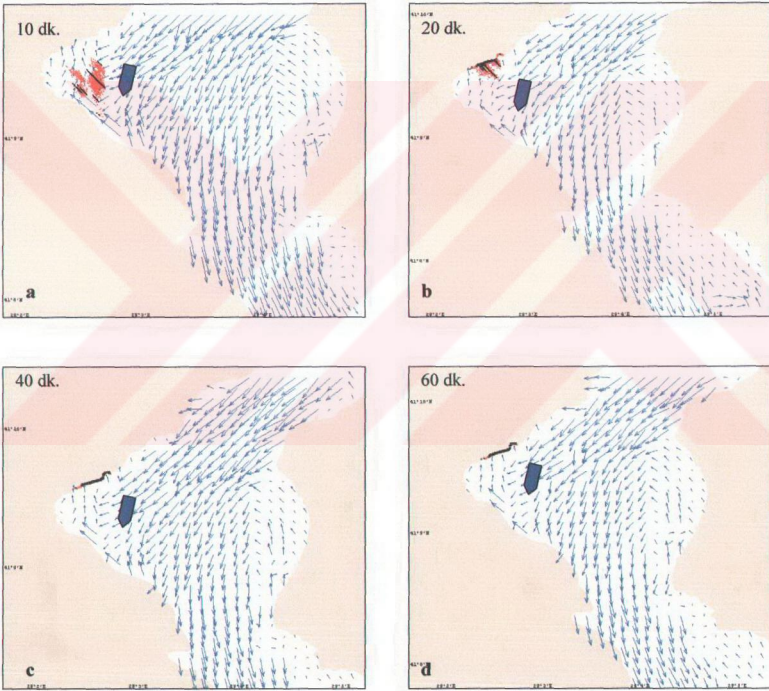
Rüzgarın kuzey batı yönde ve hızının fazla oluşu nedeni ile petrol dağılımı Büyükdere güney kıyılarına hızla ulaşmıştır (Şekil 32a). Bir sonraki adımda ise koy içerisindeki türbülansın da etkisi ile yayılımın olduğu görülmüştür (Şekil 32b). Petrolün büyük bölümü 40. dakikada Büyükdere kuzey kıyılarına tamamen ulaşırken bir bölümü Tarabya kıyılarına ulaşmıştır (Şekil 32c). Son adımda ise dikkat çeken bir bölüm petrolün rüzgar ve akıntı etkisi ile koy içerisinde yayılım göstermiş olmasıdır (Şekil 32d).



Şekil 32. KB 15 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 2 nolu simülasyon

3.4.2.3. Rüzgar Güney Batı Yönünden

Güney doğudan gelen rüzgarın etkisi nedeniyle petrol dağılımının olduğu kaynağın etrafında yayılım oluşturmaya başlamıştır (Şekil 33a). Senaryonun 2. adımı olan 20. dakikada ise petrol kuzey yönüne doğru hareketlenmeye başlamış ve kıyıya ulaşmıştır (Şekil 33b). Senaryonun bir sonraki ve son adımı olan 40 ile 60. dakikalar da petrolün tümünün Büyükdere kıyılarına ulaştığı ve burada rüzgarında etkisi il sabit kaldığı tespit edilmiştir (Şekil 33c, d).



Şekil 33. GB 15 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 2 nolu simülasyon

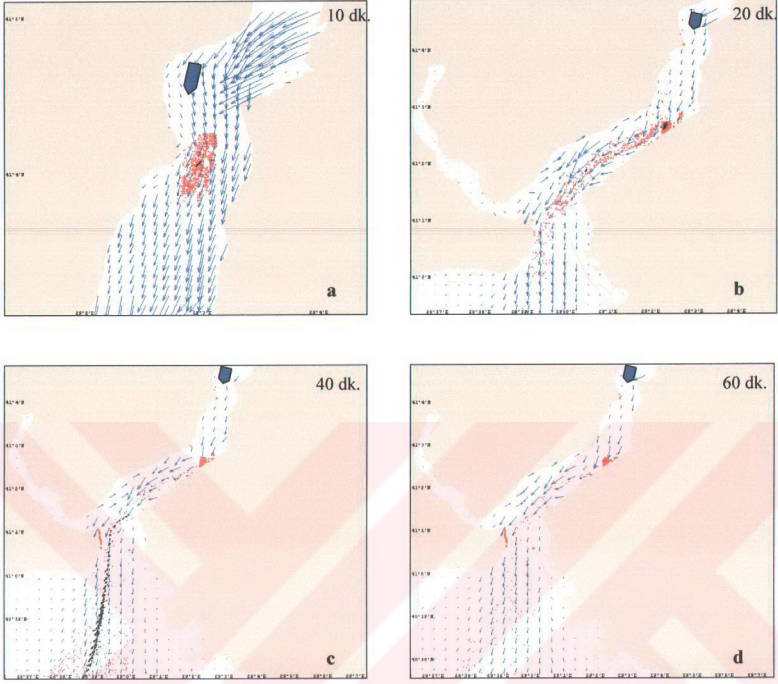
3.5. Kandilli Dönüşü 3 Nolu Dağılım Senaryosu

Kandilli dönüşü, akıntının hızlandığı bir bölge olmakla birlikte dar bir su yoludur. Kandilli ve Rumelihisarı arasında karaya oturma, çarpma ve çatışma sonucu olan kazaların yoğunluğu bu bölgenin petrol kirliliği açısından riskini artırmaktadır. Kandilli dönüşü, İstanbul Boğazı'nda bulunan Trafik Kontrol İstasyonu'nun bulunduğu yer olması nedeni ile buradan geçen tüm gemiler geçiş ile ilgili bilgilerini deklere etmeleri gerekmektedir. Bu bölgeden geçen gemilerin birbirine yakın geçişler riskli bir trafik oluşturduğu bilinmektedir.

3.5.1. Rüzgar Şiddeti 3 knot

3.5.1.1. Rüzgar Kuzey Doğu Yönünden

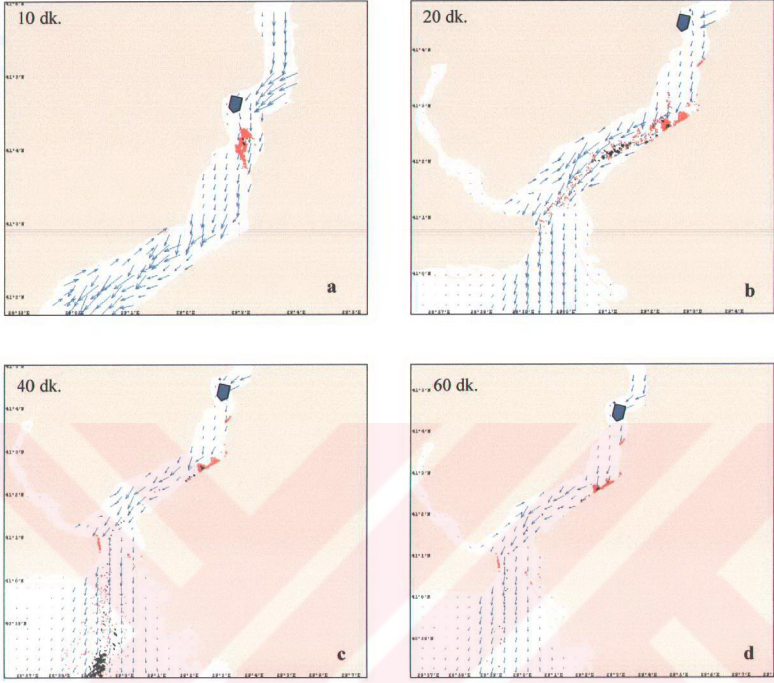
Kandilli dönüş noktasında oluşturulan bu senaryonun ilk adımı olan dağılım sonunda, akıntının hızlı oluşu nedeni ile 10 dakika içerisinde Akıntıburnu'nu geçerek Arnavutköy açıklarına kadar ulaşmıştır (Şekil 34a). Rüzgarın kuzey doğu yönünden gelişi, yayılımın ilk anlarda Avrupa kıyısına (batı) yakın olarak yönelmesine sebep olmuştur. Bir sonraki adım olan 20. dakika da ise akıntının etkisi daha net olarak görülmüş petrol Çengelköy'den Ahırkapı'ya kadar dağılım göstermiştir (Şekil 34b). Çok az bir petrolün 2. adımda Akıntıburnu kıyısına ulaştığı ve burada kaldığı bununla birlikte bir miktar petrolünde Çengelköy ile Beylerbeyi arasında karayla temas ederek yoğun olarak bu kıyılarda birikim yaptığı tespit edilmiştir. Senaryonun 3. adımı koşturulduğunda rüzgar etkisi ile kıyıdan kopan bazı petrol parçaları akıntının etkisine girerek boğaz boyunca yoluna devam etmiştir (Şekil 34c). Bu senaryoda Sarayburnu (Haliç girişi güney) önlerinde petrolün kıyı ile bulunduğu anlaşılmaktadır. Haydarpaşa limanının koruyan mendireklerin, kuzey tarafındaki mendirek önündeki dolgu kayalarında da petrolün bulunduğu ancak liman içerisine akıntı etkisiyle giremediği tespit edilmiştir. 4. adım olan 60. dakikada ise akıntı etkisi ile petrolün kıyı ile temas etmeyen kısımları Marmara Denizi'ne doğru yayılmaya başlamıştır (Şekil 34d). Buna karşın kıyı ile temas eden Çengelköy ve Sarayburnu önlerindeki ile Haydarpaşa mendireği önündeki petrolün sürekli olarak kaldığı belirlenmiştir.



Şekil 34. KD 3 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 3 nolu simülasyon

3.5.1.2. Rüzgar Kuzey Batı Yönünden

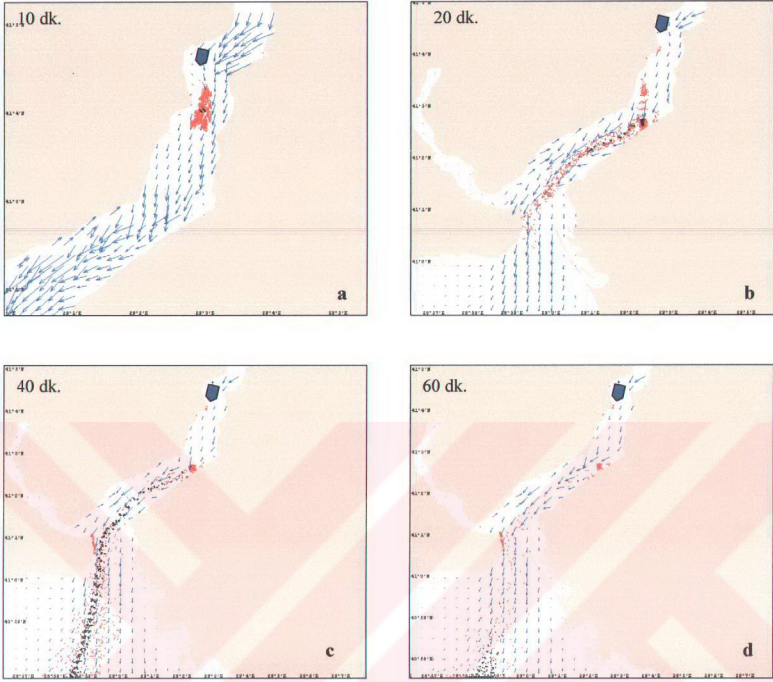
Rüzgarın kuzey batı yönünden gelmesi dağılımın ilk anda doğu kıyılarına doğru hareketlenmesine sebep olmuş bununla beraber ilk 10. dakikada Çengelköy kıyılarına hareketlendiği görülmüştür (Şekil 35a). Bir sonraki adımda ise rüzgarın baskısında büyük miktarda petrolün Çengelköy kıyılarına ulaştığı tespit edilmiştir (Şekil 35b). Geri kalan petrolün ise akıntı etkisi ile boğaz boyunca yoluna devam ettiği belirlenmiştir. 3. ve 4. adımlarda ise dağılıma devam eden petrolün Sarayburnu önlerinde kıyı ile temas ettiği ve bu bölgede tüm kıyıyı kapladığı anlaşılmıştır. (Şekil 35c, d). Geri kalan petrolünde Marmara Denizi'ne ulaştığı, çok az miktarda Haydarpaşa mendireği önlerinde toplandığı da tespit edilmiştir.



Şekil 35. KB 3 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 3 nolu simülasyon

3.5.1.3. Rüzgar Güney Batı Yönünden

Rüzgar güney batı yönüne döndüğünde, ilk dağılımın daha yavaş oluşunun rüzgar etkisinden olduğu anlaşılmıştır. İlk adımda petrolün dağılmadan toplu olarak boğaz boyunca hareket ettiği görülmüştür (Şekil 36a). Bir sonraki adımda ise rüzgar boğaz boyunca akış devam ederken önceki senaryolara nazaran çok daha az miktarda petrol Çengelköy kıyılarına ulaşabilmiştir (Şekil 36b). Sarayburnu kıyılarına ulaşan petrolün kıyı ile buluştuğu görülmüştür (Şekil 36c, d). Son adım olan 60. dakika da ise petrolün büyük bir kısmı Marmara Denizi'ne doğru yönelmiştir. Rüzgarın akıntının ters tarafa doğru olması çok az miktarda petrolün Rumelihisarı kıyılarında kıyıya vurduğu tespit edilmiştir.

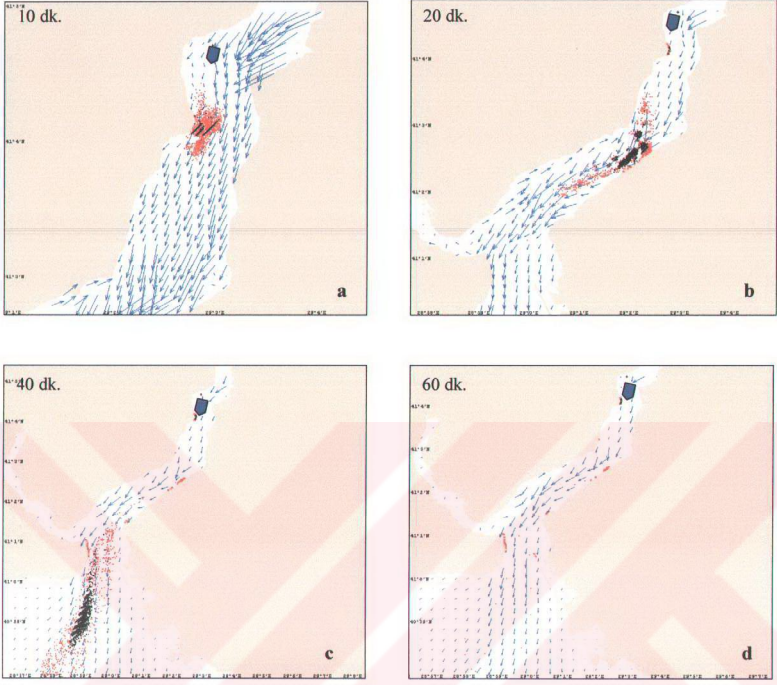


Şekil 36. GB 3 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 3 nolu simülasyon

3.5.2. Rüzgar Şiddeti 15 knot

3.5.2.1. Rüzgar Kuzey Doğu Yönünden

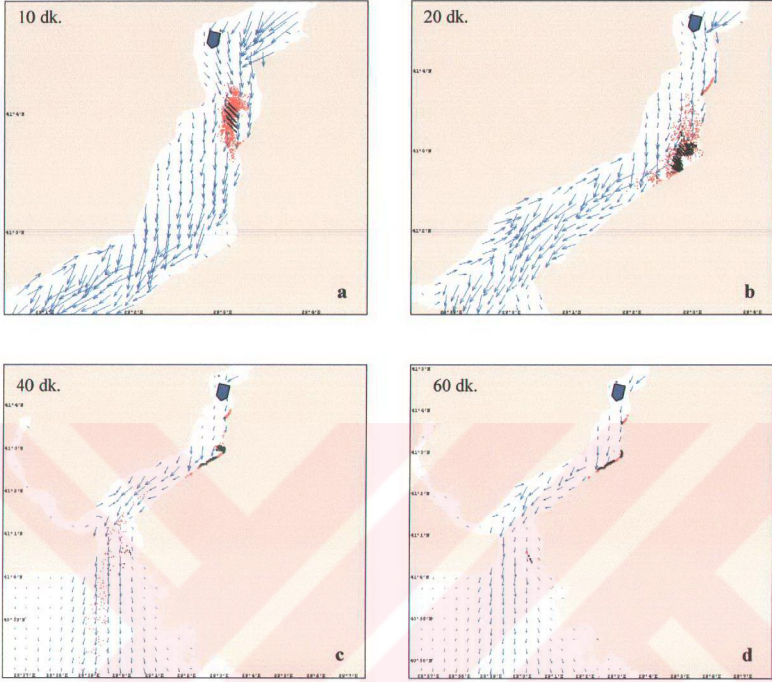
İlk adımda Akıntıburnu, daha sonraki adımda ise Beylerbeyi kıyılarına ulaşan petrol burada kıyı ile buluşmuştur (Şekil 37a, b). Akıntı boyunca devam eden petrol, Sarayburnu kıyılarında ve Haydarpaşa Mendireğinde birikim oluşturmuştur (Şekil 37c, d). Petrolün geri kalan, karaya ulaşamayan kısmının ise, Marmara Denizi'ne boşaldığı belirlenmiştir. Rüzgarın etkisi ile de dağılım gösteren petrolün hızlı hareket ettiği görülmüştür.



Şekil 37. KD 15 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 3 nolu simülasyon

3.5.2.2. Rüzgar Kuzey Batı Yönünden

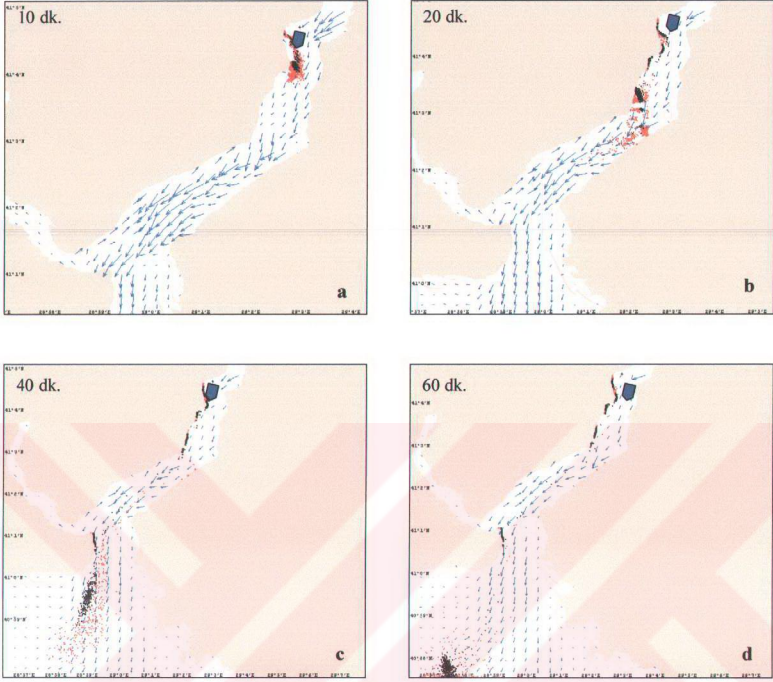
Kuzey batı yönünden 15 knot şiddetinde gelen rüzgar, dağılımın başlaması ile Çengelköy önlerine doğru ilerlemeye başlamıştır (Şekil 38a). Bir sonraki etap olan 20. dakikada ise yayılan petrolün büyük bir kısmı Çengelköy kıyılarına ulaşmıştır (Şekil 38b). Kaza sonrasında dağılan petrolün çok büyük bir kısmı Çengelköy kıyılarında kalmış, buna karşın az miktardaki petrolde boğaz boyunca yayılmaya başlamıştır (Şekil 38c). Kalan petrolün bir bölümü Marmara Denizi'ne diğer kısmı ise Haydarpasha Mendireği ile Limanı arasında karaya ulaştığı tespit edilmiştir (Şekil 38d).



Şekil 38. KB 15 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 3 nolu simülasyon

3.5.2.3. Rüzgar Güney Doğru Yönünden

Rüzgar yönünün akıntı yönüne ters yönde olması nedeniyle yayılımın başladığı andan itibaren Rumelihisarı ile Akıntıburnu arasında kalan kıyılara yoğun olarak petrol ulaştığı görülmüştür (Şekil 39a). Bir sonraki adımda ise Rumelihisarı'ndan Kuruçeşme'ye kadar olan kıyı alanlarında tamamen petrolün kıyıya ulaştığı tespit edilmiştir (Şekil 39b). 3. adım olan 40. dakikadaki simülasyonda Çengelköy kıyılarında çok az miktarda petrol biriktiği, asıl birikimin Sarayburnu önlerinde yoğunlaştığı anlaşılmıştır (Şekil 39c). Haydarpaşa Mendireği yönüne petrolün yayılmadığı geri kalan petrolün ise Marmara Denizi'ne doğru dağılım gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 39d). Haliç girişinde de petrolün olduğu görülmüş fakat Haliç'e petrol girişi olmamıştır.



Şekil 39. GD 15 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 3 nolu simülasyon

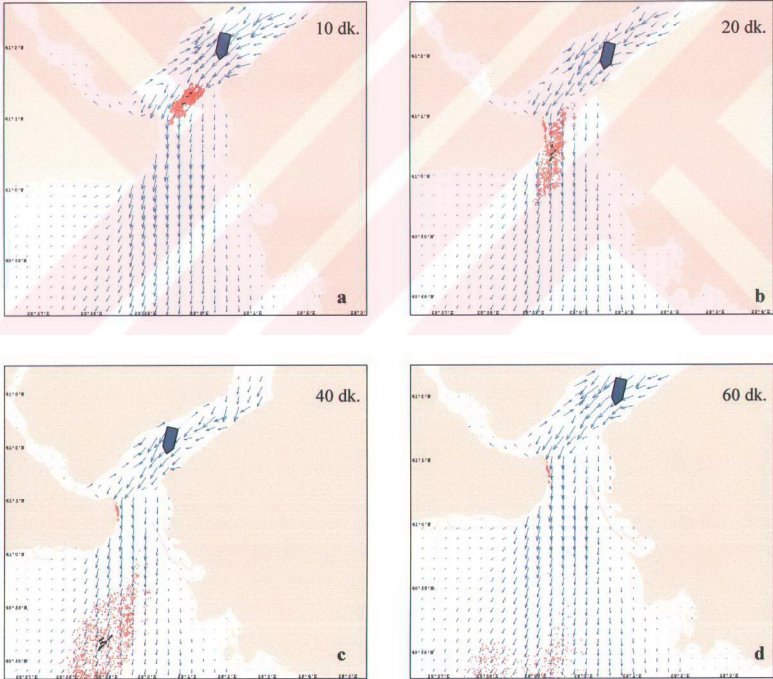
3.6. Dolmabağçe Önleri 4 Nolu Dağılım Senaryosu

Boğazdan gelen Karadeniz suları, Dolmabağçe önlerinden geçerek Marmara Denizi'ne karışmıştır. Dolmabağçe önlerinde akıntının ters etkisi, Haliç girişi ve Sarayburnu dönüşünün etkisi gemilerin kontrolden çıkarak oturma, sürüklenme ve çatışma gibi kazalara sebep olduğu bilinmektedir. Bu bölgede meydana gelebilecek gemi kazaları sonrasında oluşacak petrol dağılımının Marmara Denizi'ne çok hızlı bir şekilde yayılacağı tespit edilmiştir. Haydarpaşa Mendireği ve bu bölgede bulunan liman ve gemi hareketlerinin çokluğu bu bölgedeki kaza risklerini artırdığı bilinmekte olup bununla birlikte Avrupa ve Asya arasındaki gemi trafiğinin çok yoğun olması itibarı ile de kazaların sık olduğu bir bölge olma özelliğindedir.

3.6.1. Rüzgar Şiddeti 3 knot

3.6.1.1. Rüzgar Kuzey Doğu Yönünden

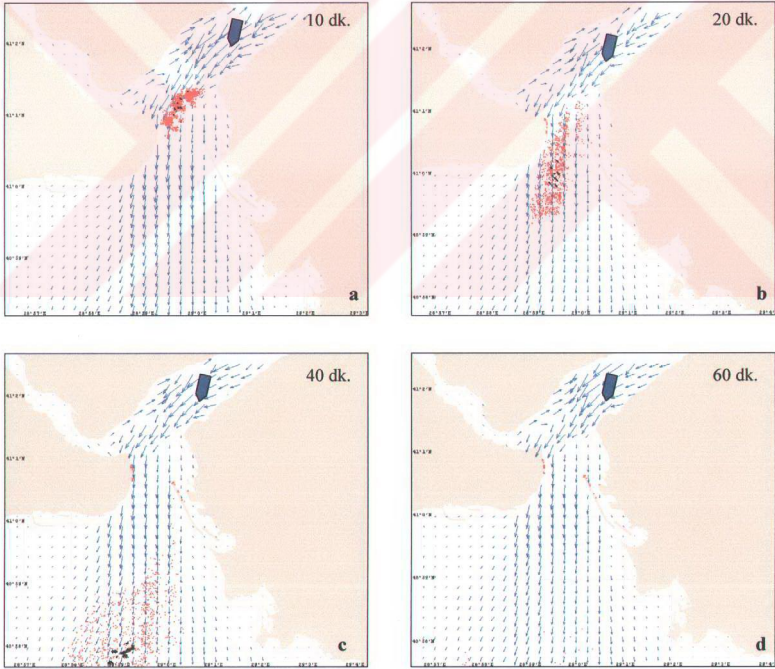
Dolmabahçe önlerinde meydana gelen kaza sonrasında oluşacak dağılım senaryosunun ilk adımında yayılımın Sarayburnu önlerine doğru hareket ettiği görülmüştür (Şekil 40a). Senaryonun 2. adımı olan 20. dakikada petrol dağılımı Sarayburnu kıyılarını etkisi altına almış ve petrolün akıntı etkisi ile yayılım göstermeden Marmara Denizi'ne doğru devam ettiği tespit edilmiştir (Şekil 40b, c). Son adım olan 60. dakikada ise petrolün az bir kısmının Sarayburnu kıyılarında kaldığı diğer bölümünün ise Marmara Denizi'ne dağıldığı görülmüştür (Şekil 40d).



Şekil 40. KD 3 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 4 nolu simülasyon

3.6.1.2. Rüzgar Kuzey Batı Yönünden

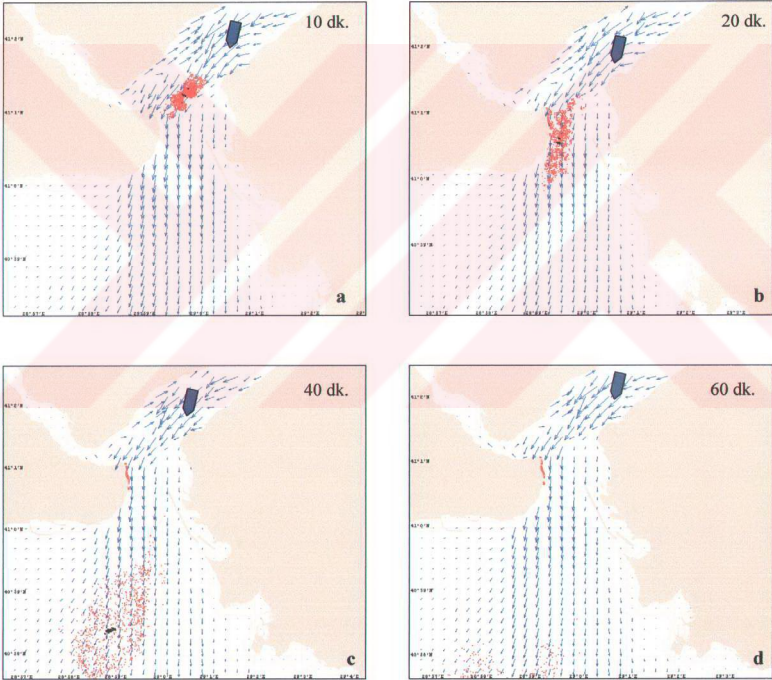
Kuzey batı yönünden gelen rüzgar etkisi altındaki petrol, Sarayburnu kıyılarını daha az etki altına almış, buna karşın Haydarpaşa Mendireğine doğru yönelmiştir (Şekil 41a, b). Bir sonraki adım olan 40. dakikada ise Haydarpaşa Limanının içlerine petrolün girdiği ve burada mendirek kayalıklarında kara ile temas ederek burada kaldığı belirlenmiştir. Petrolün Sarayburnu kıyılarına da ulaştığı tespit edilmiştir (Şekil 41c). Aynı senaryoda geri kalan yüksek orandaki petrol ise geniş bir yayılım göstererek Marmara Denizi'ne doğru hareketlenmiştir. Son adım olan 60. dakikadaki dağılım incelendiğinde ise Marmara Denizi'ne dağılan petrolün akıntının da etkisi ile geniş bir yayılım alanı içerisinde olduğu, Haydarpaşa limanına giren petrolünde burada kaldığı tespit edilmiştir (Şekil 41d).



Şekil 41. KB 3 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 4 nolu simülasyon

3.6.1.3. Rüzgar Güney Doğu Yönünden

Güney doğudan gelen akıntıya ters rüzgar petrolü Sarayburnu kıyılarına doğru sürüklemeye başlamıştır (Şekil 42a). Haydarpaşa Mendireği yönüne petrol dağılımı olmadığı buna karşın rüzgar etkisi ile boğazın batı yönüne petrolün hareketlenmeye başladığı görülmüştür (Şekil 42b). 3. adım olan 40. dakikada Sarayburnu kıyılarında petrolün bulunduğu ve kalan diğer petrolün ise Marmara Denizi'ne doğru hareket ettiği anlaşılmıştır (Şekil 42c). Son adım olan 60. dakikada ise petrolün Marmara Denizi'ne doğru dağılım gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 42d).

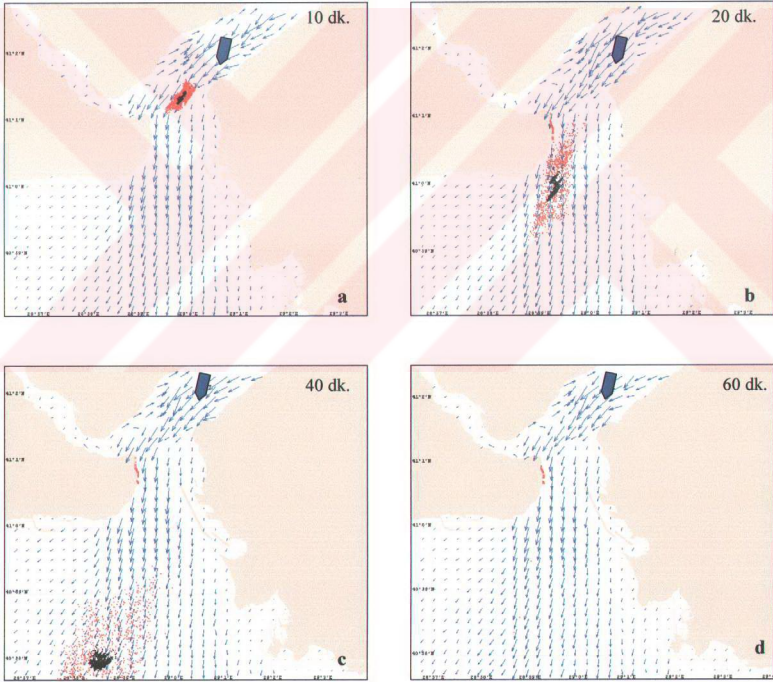


Şekil 42. GD 3 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 4 nolu simülasyon

3.6.2. Rüzgar Şiddeti 15 knot

3.6.2.1. Rüzgar Kuzey Doğu Yönünden

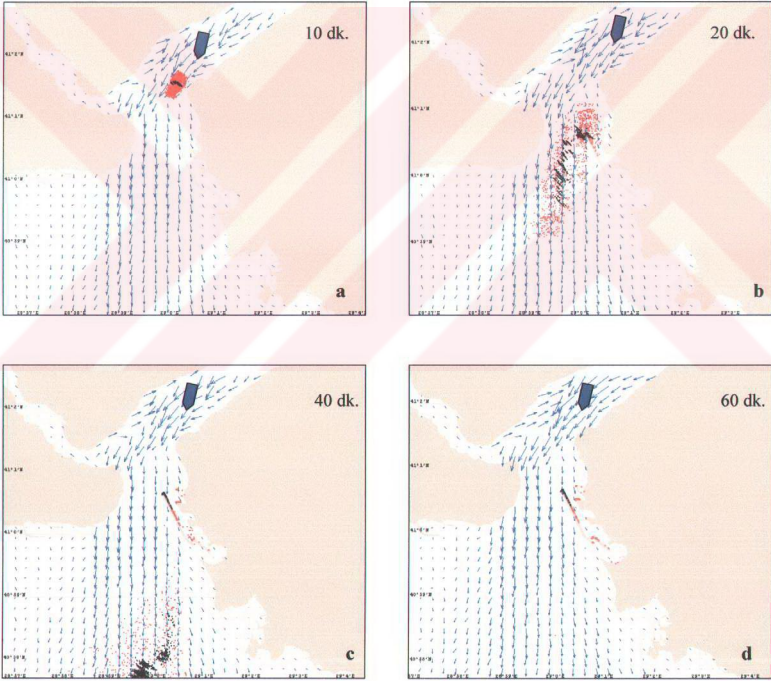
Senaryonun 1. ve 2. adımında bir bölüm petrol Sarayburnu kıyılarına ulaşırken geri kalan petrolün büyük miktarının Marmara Denizi'ne doğru hareket ettiği görülmüştür (Şekil 43a, b). Senaryonun 3 ve 4 adımları olan 40 ile 60. dakikalarda petrolün Marmara Denizi'ne doğru tamamen yayıldığı karayla temasının sadece Sarayburnu kıyılarında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 43c, d). Petrolün büyük bir bölümünün de Marmara Denizi'ne ulaştığı anlaşılmıştır.



Şekil 43. KD 15 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 4 nolu simülasyon

3.6.2.2. Rüzgar Kuzey Batı Yönünden

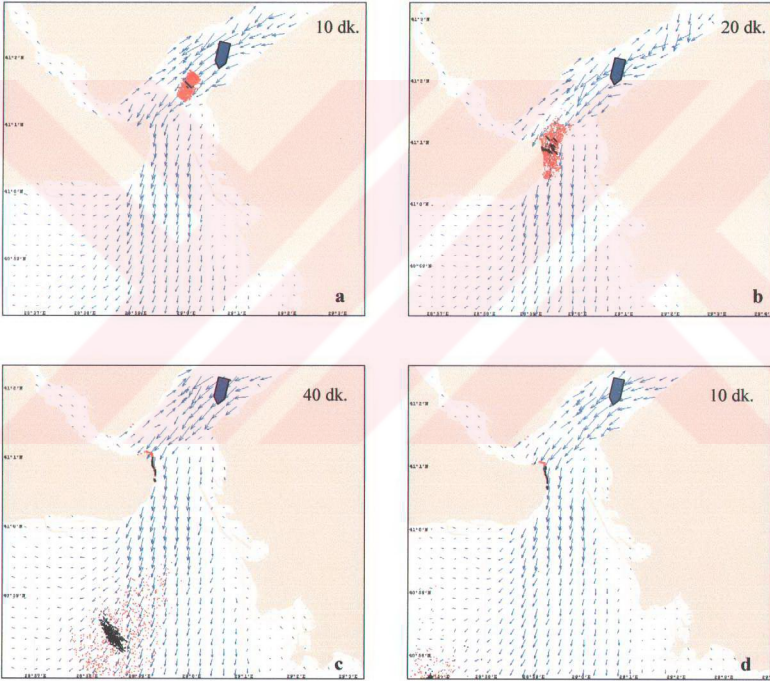
Kuzey batı yönünden gelen rüzgarın etkisi ile petrol yoğun halde boğazın doğu yönüne doğru hareketlenmeye başlamıştır (Şekil 44a). Bunu takip eden adımda ise Haydarpaşa Mendireği ile liman arasına petrolün girdiği görülmüştür (Şekil 44b). Petrolün geri kalan kısmı ise Marmara Denizi'ne doğru hareketlenmiş olmasına karşın Sarayburnu kıyılarına ulaşamadığı anlaşılmıştır. Bir sonraki adımda ise Haydarpaşa Mendireğinden giren petrol Kadıköy Sahillerine kadar ulaşmış ve burada bulunan mendirek dolgu kayalıklarının içerisinde yoğun olarak girmiştir (Şekil 44c, d). Geri kalan petrol ise Marmara Denizi'ne doğru olan hareketini sürdürmüştür.



Şekil 44. KB 15 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 4 nolu simülasyon

3.6.2.3. Rüzgar Güney Doğu Yönünden

Güney doğudan gelen rüzgar ile akıntının da etkisiyle, Sarayburnu ve Haliç girişine doğru petrol yayılmaya başlamıştır (Şekil 45a). Bir sonraki adım olan 20. dakikada ise petrol Sarayburnu kıyılarına yoğun olarak ulaşmıştır (Şekil 45b). Aynı zamanda Tophane önlerinde petrolün karayla buluştuğu görülmüştür (Şekil 45c). Son adım olan 60. dakikada ise geri kalan petrolünde Marmara Denizi'ne doğru yöneldiği anlaşılmıştır (Şekil 45d).



Şekil 45. GD 15 knot rüzgar ve 10, 20, 40 ve 60 dakika için 4 nolu simülasyon

4. İRDELEME

Bu çalışmada, İstanbul Boğazı'ndaki oluşabilecek tanker kazaları sonrasındaki petrol dağılımının zamansal ve alansal dağılımları incelenmiştir. İstanbul Boğazı'nın kıvrımlı coğrafik yapısı, Karadeniz ile Akdeniz gibi farklı tuzluluktaki denizleri birbirine bağlaması akıntı özelliklerinin farklı olması ile birlikte dar bir su yolu oluşu gemi seyrini güçleştirmekte ve kaza risklerini artırmaktadır. Bunun sonucunda, yoğun olarak petrol taşıyan gemilerin olası kazaları ile oluşabilecek petrol dağılımı tespit edilmiştir.

İstanbul Boğazı'ndaki akıntının tespit edilmesi, dağılımların incelenmesinde en önemli kriterlerden biridir. Dağılım simülasyonunun çalıştırılmasında ilk basamak olan akıntının modellenmesinde POM modeli kullanılmıştır.

İstanbul Boğazı'nda akıntının çift yönlü olduğu uzun zamandan beri bilinmektedir. Möller (1928), ilk olarak akıntı hızlarını ölçerek Boğaz'daki akıntının yön ve hızlarını belirlerken, Carruthers (1963), Boğaz'daki su kolonunun akıntı profilini çıkarmıştır.

SHOD (1990), tarafından yapılan akıntı modelleri (Şekil 4) ile bu çalışmada POM kullanılarak tespit edilen yüzey akıntı modelleri arasında benzerlik görülmüştür. Ayrıca simülasyonun akıntı modeli POM ile oluşturulduktan sonra Boğaz'da SHOD (1990) tarafından yapılan akıntı ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. SHOD (1990) tarafından, Boğazın belirli yerlerinde 1 yıl boyunca yapılan akıntı yön ve hız ölçümlerinin yıllık ortalamasıyla, POM modelini kullanılarak belirlenen yüzey akıntı modelinde uygunluk olduğu görülmüştür (Şekil 17). İstanbul Boğazı'nda Örs (1997)'ün sonlu elemanlar yöntemiyle yaptığı akıntı modeli incelenmiştir. Örs (1997) yaptığı çalışmada, Beykoz, Büyükdere, Çengelköy ve Dolmabahçe önlerindeki ters akıntı ve cayrolarda benzerlik olduğu görülmüştür.

İstanbul Boğazı'ndaki üst su akıntısı kuzeyli rüzgarlara bağlı olarak akış yönünde artabilirken güneyli rüzgarların etkisiyle de ters yöne dönebildiği, Erinç (1977) tarafından açıklanmıştır. Bu olaya “Orkoz” ismi verildiği bilinmektedir. Simülasyonda akıntı modeli çalıştırıldığında; güney, güney batı ve güney doğu yönünden verilen rüzgarların akıntı hızını azalttığı ve rüzgar hızının 20-40 knot'ın üzerine çıktığında ise akıntının terslendiği görülmüştür. Boğaz'ın kıvrımlı coğrafyası ve yüzey akıntı hızının farklı oluşu nedeniyle yüzey akıntısının terslendiği bölgeler, farklı rüzgar hızlarında farklı bölgelerde

olmaktadır. Güneyli rüzgarların artışı akıntı karakteristiğini değiştirmesi ile gemi seyrini etkilemekte, bununla birlikte oluşabilecek petrol dağılımının beklenen şekilde olmayacağı görülmektedir. Akıntıya ters yönde olan özellikle güneyli rüzgarların artması sonucunda oluşan akıntı karakteristiği rüzgarsız akıntı modeline göre farklılık göstermiştir.

Bu çalışmanın ikinci aşamasında, yapılan akıntı modeli GNOME petrol dağılım modeline uygulanmıştır. Belirlenmiş olan dört ayrı noktada farklı çevre rüzgar yön ve şiddetinde simülasyon çalıştırılmıştır. Simülasyonun, 1 numaralı çalıştırıldığı bölge olan Boğaz kuzey girişinde ($41^{\circ} 12' 00''$ N - $29^{\circ} 06' 30''$ E) tanker kazası sonrasında denize 1000 metrik ton ham petrol dökülmüş olduğu tasarlanarak senaryo oluşturulmuştur.

Rüzgar 3 knot şiddetinde verildiğinde genel yapı olarak akıntının etkisinde hareket ettiği anlaşılmıştır. Kuzey batı yönünden rüzgarın verilmesi durumunda Anadolukavağı kıyılarına petrolün birikimi kuzey doğu ve güney doğu yönlerine göre daha fazla olmuştur. Bu bölgede oluşabilecek bir kaza sonrasında, petrolün kara ile temas edeceği ilk bölgenin, Anadolukavağı olduğu anlaşılmaktadır. Anadolukavağı'nın kuzeyindeki bu koyda oluşan ters akıntı ve türbülanslı sular petrolü, özellikle kuzey batılı rüzgarda kıyı şeridinde kara ile buluşturmaktadır. Anadolukavağı burnunu geçebilen petrol ise Büyükdere ve Tarabya kıyılarına ulaşmaktadır. Güney doğu yönünden gelen rüzgarda Büyükdere kıyılarına daha yoğun olarak ulaştığı anlaşılmaktadır. Petrol boğaz boyunca yayılım göstermezken, başta Anadolukavağı, Büyükdere ve Tarabya kıyıları olmak üzere petrole maruz kaldığı görülmüştür.

Bu bölgede rüzgar şiddeti 15 knota çıkarıldığında, dağılımların hızının arttığı ve akıntı etkisinin azalarak, rüzgarın dağılımda etkisinin arttığı görülmüştür. Güney doğudan esen rüzgarda dağılım hızının diğerlerine göre yavaş olduğu ve daha fazla alana yayılım gösterdiği anlaşılmaktadır. Kuzeyli rüzgarlarda ise dağılımın hızının fazla olduğu görülmüştür. Buda akıntı yönüyle rüzgar yönünün ters olmasından kaynaklanmaktadır. Kuzey doğudan gelen rüzgar etkisinde kalan petrol, az bir bölümünü Anadolukavağı burnunda bırakarak yayılım göstermeden Tarabya kıyılarına yoğun olarak ulaşmıştır. Buna karşın kuzey batı yönünden gelen petrolün dağılımı ilk anlarda doğu yönüne doğru hareket etmiş ve daha sonra Anadolukavağı koyuna doğru yönelmiştir. Bu koyda ters akıntı ve rüzgarın etkisi ile tüm kıyı şeridine yayıldığı anlaşılmaktadır. Tüm petrolün bu koyda kalarak yoğun olarak kıyı şeridinde toplandığı görülmüştür. Bununla birlikte güney doğudan gelen rüzgarda ise kuzey batının tersine, ilk anından itibaren dağılımın yönü Rumelikavağı kıyılarına doğru olmuştur. Anadolukavağı yönünde ise petrol dağılımı

olmamıştır. Rumelikavağı önlerinden başlayan petrolün kıyı ile olan teması Tarabya kıyılarına kadar ulaşmıştır. Simülasyonun çalıştırıldığı 1 nolu senaryoda farklı rüzgarlarda da petrolün Tarabya'yı geçerek yoğun olarak boğaz boyunca yayılım göstermediği görülmüş, buna karşın rüzgarın düşük olduğu (3 knot) değerinde Anadolukavağı, Büyükdere ve Tarabya kıyılarının rüzgar yönüne bağlı olarak farklı miktarlarda bulaşma olduğu anlaşılmıştır. Rüzgar şiddetinin artırılması sonucunda (15 knot) ise petrolün kıyı ile olan temas bölgelerinin rüzgar yönüne bağlı olduğu görülmüştür.

Simülasyonun çalıştırıldığı 1 nolu bölgede kaza sonrasında ilk olarak Anadolukavağı burnunda petrolün kıyı ile temas ettiği görülmüştür. Bu bölgede yapılacak olan bir önleme çalışması, petrolün bir sonraki dağılımı olan bölgelere gitmesini engelenmiş olacaktır. Bu bölgede oluşabilecek bir kazada petrol yayılımının kontrol altına alınabilmesi için başta bariyer kullanılarak Anadolukavağı'nda müdahale yerinde olacaktır. Eğer bu bölgede petrole müdahale edilemezse dağılımın Büyükdere kıyılarını takiben Tarabya kıyılarına kadar ulaşacağı anlaşılmaktadır. Kaza sonrasında müdahalenin, Anadolukavağı burnunda hızlı bir şekilde yapılması çok önemlidir. Çünkü dağılımın hızla bu noktaya ulaştığı görülmüştür. Ancak kuzey girişinde simülasyonun çalıştırıldığı bölgeden daha kuzey bölgede olabilecek kazalarda müdahale için zamanın daha fazla olduğu da bir gerçektir.

Büyükdere, 2 nolu simülasyonun (41° 09' 26" N - 29° 02' 56" E) çalıştırıldığı 2. simülasyon noktasıdır. Büyükdere dönüşü gemilerin akıntı ile etkilendiği sayının zorlaştığı bir noktadır. Bu bölgedeki sıklık, gemilerin oturmasına sebep olmaktadır. Büyükdere dönüşü sonrasında gelen Umuryeri banklığı akıntı etkisi veya trafik seperasyonu dışına çıkan gemilerin oturma ve karaya çarpma risklerinin olduğu bir bölgedir.

Rüzgar şiddeti 3 knot verildiğinde, Büyükdere önlerindeki cayro ve oluşan ters akıntıların etkisi ile petrol dağılımı koyun içine doğru hareketlenmeye başlamıştır. Kuzey doğu, kuzey batı ve güney doğu yönlerinden verilen rüzgarın etkisinin bölgedeki akıntıyı değiştirmedeği anlaşılmıştır. Koy içerisinde dağılım gösteren petrol ilk olarak güney yöne doğru hareket etmiş ve burada kıyı ile buluşmuş, geri kalan petrol ise aynı koy içinde ters akıntı etkisi ile karşı kıyıya ulaşmıştır. Tüm simülasyon süresince petrol koy içerisinde kalmış çok az bir petrolün kuzey batıdan gelen rüzgar etkisi ile Tarabya kıyılarına vardığı görülmüştür. Koy içerisinde petrolün sınırlı bir şekilde yayılım gösterdiği anlaşılmıştır.

Simülasyonun 2 . senaryosu olan rüzgar şiddetinin 15 knota çıkartılmasında, petrol yayılımına rüzgarın etkisi olmuştur. Kuzey doğudan gelen rüzgarın etkisi ile dağılım başladığında Büyükdere'nin koy içerisindeki tüm kıyıları petrol ile temas etmiştir. Güney batı yönden gelen rüzgar etkisi ile petrol koy içerisinde kuzey yöne doğru akıntının tersine yönelerek kıyı ile temas etmiştir. Güney batı ve kuzey doğu yönlerinden gelen rüzgarlarda tüm petrol koy içerisinde kalmış ve başka bir dağılım göstermemiştir. Kuzey batıdan gelen rüzgarda ise petrolün büyük bir kısmı koyun kuzey kıyılarına ulaşırken çok az bir kısmının da Tarabya kıyılarına sürüklendiği görülmüştür.

Büyükdere önlerinde yapılan kaza senaryosunda rüzgar, şiddeti düşük de olsa ve yüksek de olsa petrolün çok büyük bir kısmı koy içerisinde kalmıştır. Yoğun olarak kıyılara ulaşma sürelerinin kısa olduğu görülmüştür. Petrolün, sadece koy içerisinde, rüzgar kuzey batı yönünde olması durumunda, Tarabya kıyılarına ulaştığı buna karşın boğaz boyunca bir dağılım göstermediği anlaşılmıştır. Yoğun olarak koy içerisinde kalacak olan petrolün yoğun bir kirlenmeye sebep olacağı açıktır. Dağılımın hızlı olmasından dolayı karşı müdahale zamanının hızlı olması gerektiği anlaşılmaktadır. Kaza yapan tankerin akıntı ve rüzgar etkisinde kalarak koy içerisine sürükleneyeceği ve buradaki sızıntılardan dolayı da oturma meydan gelme riskinin fazla oluşu kirlilik kaynağının da bu bölgede kalmasına sebep olacaktır.

3 nolu simülasyon İstanbul Boğazı'nın en dar noktası olan Kandili dönüşünde ($41^{\circ} 04' 43''$ N - $29^{\circ} 03' 00''$ E) çalıştırılmıştır. Kandilli dönüşünün, dar oluşu ve akıntı hızının artması ile birlikte “şeytan akıntıları” adı verilen ters akıntılarının oluşu kaza risklerini artırmaktadır.

Simülasyonun düşük rüzgarda (3 knot) yapılan senaryolarının kuzey doğudan gelen rüzgar dağılımının doğuya sürüklenmesini yavaşlatmasına rağmen rüzgar hızının az olması nedeni ile dağılım doğu yönüne hareketlenmiştir. Her üç yönden gelen rüzgarda da dağılımın ilerlemesiyle petrolün Çengelköy kıyılarında yoğun bir birikim oluşturduğu anlaşılmıştır. Özellikle akıntı şiddetinin arttığı boğazın güney bölümünde akıntı etkisinin dağılımda etkili olduğu görülmüştür. Çengelköy'de karayla buluşamayan petrol yoluna devam etmiş ve boğaz boyunca ilerlemiştir. Güney doğu, kuzey doğu ve kuzey batı yönlerinden gelen rüzgar etkisi ile 3 senaryoda da, petrol Sarayburnu önlerinde kıyıya ulaşmıştır. Sarayburnu kıyılarında güney batı yönünden gelen rüzgarda diğer yönlerle göre daha fazla petrol biriktiği anlaşılmıştır. Kuzey batı ve kuzey doğu yönünden gelen rüzgarda, Haydarpaşa önlerindeki mendireğin dolgu kayalıklarının bulunduğu yerde

petrolün ulaştığı da görülmüştür. Bu bölgenin kapalı bir liman alanı oluşu bu alana giren petrolün dağılım göstermeden burada kalacağını göstermiştir. Sarayburnu önlerinden geçen petrol Marmara Denizi'ne ulaşarak yayılımına devam etmiştir. Kuzey batı ve kuzey doğu yönünden gelen rüzgarın etkisi altında kalan petrolün yayılım hızı güney batıdan gelen rüzgar yönüne göre daha fazla olmuştur.

Rüzgar şiddeti 15 knot olarak senaryolar çalıştırıldığında rüzgar, etkisinin akıntıyı etkilediği ve yönünü değiştirdiği anlaşılmıştır. Güney doğu yönünden gelen rüzgarın etkisi ile dağılım batı yönüne hareket etmiş ve petrol Arnavutköy kıyılarına ulaşmıştır. Kuzey batı yönünden gelen rüzgar etkisi ile petrol yoğun olarak Çengelköy kıyılarında toplanmıştır. Petrolün çok büyük bir kısmının Çengelköy kıyılarında karayla temas etmiş ve buradan başka bir bölgede büyük oranda dağılım göstermemiştir. Kuzey doğudan esen rüzgar etkisi ile de petrol batıya doğru bir yayılım göstermiş ve akıntı etkisi ile Arnavutköy ve Çengelköy kıyılarında azda olsa petrol teması olduğu görülmüştür. Kuzey batıdan gelen rüzgarda ise petrol yoğun bir şekilde ve hızlı bir yayılım göstererek Çengelköy kıyılarına ulaşmıştır. Simülasyonlarda zamanın ilerlemesi ile güney doğu ve kuzey doğu yönünden gelen rüzgarın etkisi ile Sarayburnu'nda petrol kara temas etmiş, buna karşın kuzey batı yönünden gelen rüzgarda ise kara ile temas etmeden Marmara Denizi'ne doğru yönelmiş petrolün geri kalan kısmı burada dağılmaya başlamıştır. Rüzgarın kuzey batı yönünden gelmesi ile Haydarpaşa Mendereği'nden içeri giren petrol bu liman alanı içerisinde dağılmış ve yoğun olarak petrol bu bölgedeki mendirek kayalıklarına ulaşmıştır.

Kandilli dönüşünde meydana gelen kaza sonrasında petrolün dağılımında yoğun olarak risk altında kalan kıyı alanlarının başında Çengelköy ve Sarayburnu gelmektedir. Çengelköy'de yayılıma müdahale edilebildiği takdirde, tüm yayılım kontrol altına alınabileceği belirlenmiştir. Haydarpaşa Mendereği'nin özellikle batıdan gelen rüzgar etkisi ile petrole maruz kalacağı anlaşılmıştır. Rüzgarın yüksek şiddetlerde güney batı yönüne dönmesi sonucunda boğazın batı kıyılarının risk altında olduğu görülmüştür. Sarayburnu ve Haydarpaşa Mendereği arasında petrol kontrol altına alınamadığı takdirde petrolün Marmara Denizi'ne dağılması sonucunda kontrolünün daha da ortaya çıkmıştır. Özellikle Çengelköy'de müdahalenin önemi zamana bağlı olarak tüm petrolün bu bölgede toplanabilmesine imkan tanımıştır. Kuzey doğudan gelen rüzgarın şiddetini artırması sonucunda Haliç girişinde petrolün azda olsa toplandığı görülmüş, fakat Haliç içlerine girmemiştir.

Dolmabahçe önlerinde 41° 02' 08" N - 29° 00' 45" E koordinatlarında petrol dağılım simülasyonu çalıştırılmıştır. Kavakburnu ve Dolmabahçe arasında kalan bu bölge akıntının boğazda en hızlı olduğu yerdir. Bu bölge trafik seperasyonunun birbirine en yakın olduğu yerdir. Tophane Kavakburnu arasında kalan bu bölgede gemi kazalarının başlıca nedenlerinin, iki kıta arasında geçiş yapan küçük gemi sayısının fazlalığı ve trafikteki yoğunluk olduğu bilinmektedir.

Rüzgarın 3 knot şiddetinde senaryo uygulandığında, güney doğu ve kuzey doğudan gelen rüzgar etkisi ile Sarayburnu önlerinde kıyı ile temasın olduğu görülmüştür. Rüzgar yönü kuzey batıdan uygulandığında ise, Sarayburnu ile olan temasın daha az olduğu anlaşılmıştır. Senaryodaki zamanın ilk 20 dakikasından sonra petrolün Marmara Denizi'ne çıktığı görülmüştür. Kuzey batıdan verilen rüzgarda petrolün Haydarpaşa Mendireği'nden girerek liman içerisinde yayılmış ve özellikle mendireğin iç kısımlarına temas etmiştir. Liman içerisine giren petrol liman içerisinde bulunan mendirek kayalarına doğru ulaşmış ve burada kalmıştır. Farklı 3 yönden gelen rüzgarda da Marmara Denizi'ne dağılan petrolün alansal olarak genişleyen bir yayılım göstererek yoluna devam ettiği görülmüştür.

Simülasyon, 15 knot rüzgar şiddetinde çalıştırıldığında; güney doğudan gelen rüzgar etkisiyle petrolün Sarayburnu kıyı alanında yoğunlaştığı görülmüştür. Sarayburnu kıyılarının yoğun petrol teması ile birlikte Haliç girişine de petrolün yayıldığı anlaşılmıştır. Kuzey batıdan gelen rüzgarda ise, Sarayburnu kıyılarına petrolün ulaşmadığı yoğun olarak doğu yönüne hareketlendiği ve buradan Haydarpaşa mendireğinden liman içerisine girdiği görülmüştür. Liman içerisinde rüzgar etkisi ile Kadıköy önlerine gelerek buradan kıyı alanına ulaşmıştır. Liman içerisindeki bu dağılımın en önemli kısımlarından biri, bu alanın yoğun yolcu trafiğine sahip olmasıdır. İstanbul şehri için bu bölgede oluşabilecek petrol kirliliğinin çok büyük kayıplara neden olacağı açıktır. Kuzey doğudan gelen rüzgarda petrol Sarayburnu kıyılarına temas etmiş olmasına karşın, petrol miktarı güney batıdan gelen rüzgar senaryosuna göre çok daha az olmuştur. Senaryolarda ilerleyen zamana bağlı olarak petrolün büyük bir kısmının Marmara Denizi'ne ulaştığı görülmüştür.

Simülasyonun çalıştırıldığı Dolmabahçe önlerinde oluşan tanker kazası senaryosunda, batı yönünden gelebilecek rüzgarlarda Haydarpaşa limanının risk altında olduğu anlaşılmıştır. Liman girişinde bariyerle alınacak bir önlemin limanın korunmasında önemli olacağı açıktır. Sarayburnu mevkiinin, bir çok senaryoda risk

altında olan bir bölge olduğu anlaşılmaktadır. Sarayburnu kıyılarında petrolün bir bölümü kalırken, diğer kısmı buraya çok yakın bir mesafeden geçmektedir. Petrol bu bölgede kontrol altına alınabildiği takdirde, Marmara Denizi'ne ulaşması engellenmiş olacaktır. Petrolün Boğazı terk edip Marmara Denizi'ne ulaştığında genişleyen bir yayılım gösterdiği görülmüştür. Marmara Denizi'nde bu dağılımın kontrolü ve temizliğinin oldukça zor olacağı açık olarak görülmüştür.



5. SONUÇLAR

İstanbul Boğazı, Karadeniz'i Akdeniz'e bağlayan tek su yolu olma özelliğindedir. Boğazın ekolojik olarak biyolojik koridor ve bariyer olması bu her iki deniz açısından oldukça önemlidir. İstanbul Boğazı'nda olabilecek bir tanker kazası ile petrolün denize dökülmesi deniz kirliliğini ve böylelikle canlı hayatını risk altına alacaktır. Orta Asya petrolleri boru hatlarıyla kuzey Karadeniz ülkeleri kıyılarına, buralardan büyük tankerlerle Türk Boğazlarını kullanarak taşınmaktadır. Bu oran her geçen gün artmakta ve TBS'nin risk altına girmesine sebep olduğu bilinmektedir

Bu tez çalışmasında, İstanbul Boğazı'nda meydana gelebilecek tanker kazaları sonrası oluşacak petrol dağılımının zamansal ve alansal dağılım simülasyonu yapılmıştır. Simülasyonun çalıştırılmasında en önemli etkilerden biri olan akıntı için POM modeli kullanılmıştır. POM modelinden elde edilen veriler petrol dağılım modeli olan GNOME™ simülasyon modelinde akıntı veri tabanı olarak kullanılmıştır.

POM modeli kullanılarak yapılan akıntı modeli incelendiğinde; rüzgarın 0 knot olduğunda İstanbul Boğazı'nın kuzeyindeki akıntı hızının az (1-3 knot), güneyinde ise (3-4 knot) olduğu görülmüştür. İstanbul Boğazı'nın kuzeyinden güneyine inilmeye başlandığında kanalın daraldığı bilinmektedir. Kanalın daralması sonucunda akıntı hızının artması, beklenen hız değişimini açıklamaktadır. Boğazda meydana gelen türbülans ve ters akıntıların sebeplerinin Boğazın kıvrımlı ve akıntı yönü farklılıklarından olduğu anlaşılmaktadır. Boğaz'daki alt akıntıdaki mevsimsel değişikliklerin de bu gibi etkileri oluşturduğu bilinmektedir.

Bu çalışmada, 1 nolu simülasyonun çalıştırıldığı Boğaz kuzey girişinde, yapılan farklı senaryolar sonrasında petrolün dağılımı incelenmiştir. Dağılımın ilk adımlarında Anadolukavağı'nın risk altında olduğu görülmüştür. Anadolukavağı'nda petrol dağılımına müdahale edilmesi, dağılımın boğaz boyunca yayılmasını da engellemiştir. Burada petrolün kontrol altına alınması dağılımın genişleme göstermeden kontrolünü daha kolaylaştıracaktır. Bariyer kullanılarak yapılacak olan müdahale bu bölgenin petrolle kirlenmesini engellemekle birlikte, yayılımının kontrol altına alınmasını sağlayacaktır.

Anadolukavağı'nda dağılan petrol kontrol altına alınamadığı takdirde dağılım Büyükdere önlerinden Tarabya kıyılarına kadar ulaşmaktadır. Tarabya kıyılarında uzun

bir kıyı şeridinde yoğun olarak petrolün ulaştığı anlaşılmıştır. Bu bölgedeki kıyı alanın korunması önemlidir. Bu alanın petrol ulaşmadan korunma altına alınabilmesi için Büyükdere önlerinde müdahale gerekmektedir. Kuzey doğu yönünden gelen rüzgarlarda Büyükdere Koyu'nun risk altında olduğu tespit edilmiştir. Büyükdere Koyu'nda bulunan ters akıntılar bu koy içerisindeki tüm kıyı şeridini risk altına almaktadır.

Büyükdere önlerindeki 2 nolu simülasyon çalışmasında, bu bölgenin özelliğine bağlı olarak; farklı akıntı karakteristiklerine sahip olduğu bilinmektedir. Gemiler için önemli bir dönüş noktası olmakla birlikte trafik seperasyonunun dışında sığılık alan içeren bir bölgedir. Burada yapılan senaryolarda petrolün koy içerisinde rüzgar yönüne göre yayılım göstermiş olduğu anlaşılmıştır. Büyükdere Koyu içerisinde petrolün kaldığı ve boğaz boyunca yayılım olmadığı görülmüştür. Koy içerisindeki petrolün kontrol altına alınarak toplanması en uygun şekil olacaktır. Petrolün toplanmasında sıyırıcı (skimmer) kullanılması uygun yöntemlerden biridir. Sıyırıcı aracılığı ile yapılan toplama işlemi sonucunda petrolün koy içerisindeki yayılımı da engellenmiş olacaktır. Büyükdere Koyu'nda bariyer kullanılarak kapatılıp petrolün birarada toplanması sağlanabilir.

Kandilli Dönüşü, Boğazın en dar yerlerinden biri olması ve bu bölgedeki akıntının hızlı ve ters yönlerde düzensiz oluşu kaza risklerini arttırmaktadır. Kandilli dönüş noktasında meydana gelebilecek bir tanker kazasında, başta Çengelköy kıyıları ve Sarayburnu ile Ahırkapı Feneri arasında kalan kıyı alanının risk altında olduğu belirlenmiştir. Güney yönden gelen rüzgarın 20-30 knot'ın üzerine çıkması Orkoz oluşumuna sebep olur, bunun sonucunda Rumelikavağı kıyılarının risk altında olduğu görülmektedir. Orkoz olduğunda Trafik Kontrol Merkezi tarafından gemi trafiği kontrollü olarak azaltılmaktadır. Bu yüzden Rumelikavağı kıyılarına ulaşacak bir kirlilik için kaza şartlarının oluşma riski diğer kıyı alanlarına göre daha azdır.

Çengelköy kıyılarında yoğun olarak beklenen kirliliğin önlenmesi amacıyla bariyerler kullanarak, bu bölgede petrolün toplanması ve kontrol altına alınması gerekmektedir. Burada petrolün kontrol altına alınması sonucunda yayılımın Sarayburnu ve Marmara Denizi'ne dağılımı da engellenmiş olacaktır. Kuzey yönden gelen rüzgarların şiddetinin artması ile Çengelköy kıyılarına petrolün daha hızlı ulaşmasından dolayı müdahale zamanı kısılacaktır. Sarayburnu'nda ise akıntı etkisi ile kıyıya ulaşan petrol kontrol edilmediği takdirde batı yönden gelen rüzgar etkisi ile Haliç içlerine girme riski yüksektir. Haliç içlerine girecek olan petrol çevresel olarak bir çok rekreasyon alanını da

olumsuz etkileyecektir. Bu yüzden Haliç girişini kapatacak olan bir bariyer, kirliliği kontrol altına almak açısından uygun olacaktır. Dağılan petrol eğer Sarayburnu'nda kontrol edilemezse; Marmara Denizi'ne doğru yayılım göstereceğinden dolayı burada kontrol edilmesi oldukça zor olacaktır. Marmara Denizi'ne petrolün genişleyerek yayıldığı ve yayılım alanının da büyüdüğü görülmüştür. Erken müdahale edilmediği takdirde Marmara Denizi'ndeki müdahale oldukça zor olacaktır.

Boğazın güney çıkışı olan Dolmabahçe, Boğaz'ın Marmara Denizi'ne açılan bir bölgedir. Bu bölgede olabilecek kazalar sonrasında risk altında bulunan 2 bölge olduğu tespit edilmiştir. Bunlar Sarayburnu ve Haydarpaşa Mendireği'dir. Sarayburnu önlerinde petrolün hızlı bir şekilde biriktiği belirlenmiştir. Burada bariyer kullanarak yapılacak olan bir müdahale yerinde olacaktır. Sarayburnu, Boğaz'ın güney kısmında olacak petrol kirliliklerinde en fazla etki altında kalacak bölgelerdendir. Bu bölgede petrol kirliliğini önlemek amacı ile bariyerlerin bulundurulması hızlı müdahale büyük bir kirliliğin kontrol edilmesi için önem taşımaktadır. Marmara Denizi'ne dağılan petrolün tekrar toplanması işlemleri maliyeti yüksek bir o kadarda zor olduğu bilinmektedir. Marmara Denizi'ne dağılan petrol ilerleyen zaman içerisinde çökme ve buharlaşma yolu ile dağılacaktır. Çöken petrolün bentik tabakadan temizlenmesi oldukça güç ve uzun zaman alacaktır.

Dolmabahçe önlerinde oluşan bir kazada kuzey batı yönünden gelen rüzgarların etkisi ile petrolün Haydarpaşa Limanı içerisine yoğun olarak girdiği tespit edilmiştir. Liman içinde bulunan gemiler ve mendirek kayalıkları petrolün liman içinde kontrol edilmesini zorlaştıracaktır. Liman içerisinde bulunan girintili ve çıkıntılı yavaşlama yerleri petrolün yoğun olarak buralarda birikmesine sebep olacaktır. Skimmer kullanılarak buralardaki petrolün temizlenmesi en kolay yöntemlerden biridir. Zaman içerisinde petrolün çökeceği de bilinmektedir. Haydarpaşa Mendireği kuzey girişi petrolün liman içerisine gireceği bölgedir. Burada mendirek ağzının kapatılması liman içinin korunması için önemlidir. Liman ağzı bariyer kullanılarak kapatılıp aynı zamanda petrolün toplanmasının sağlanması önemli bir müdahale şekli olacaktır. Yayılan petrolün kontrol edilemeden liman içerisine girmesi kirliliğin daha etkin olmasına sebep olacaktır. Liman içerisinde petrol kontrol edilemediği takdirde yayılım devam edecek ve Kadıköy kıyılarına kadar ulaşacaktır. Kadıköy kıyılarına ulaşan petrol bu bölgedeki rekreasyon alanlarını önemli boyutta risk altına almaktadır.

Bu çalışmada, İstanbul Boğazı'ndaki kaza risklerinin istatistiki olarak yoğun olduğu yerlerde simülasyonlar çalıştırılmış ve petrol taşıyan tankerlerden kaynaklanacak petrol dağılımı incelenmiştir. Risk altında bulunan kıyıların kirliliğe maruz kalmadan korunmasına çalışılmıştır. Bununla birlikte petrolün yayılmasını önlemek için hangi bölgelere müdahale edilmesi gerektiği belirlenmiştir.



6. ÖNERİLER

İstanbul Boğazı, her geçen gün artan gemi trafiği baskısı altındadır. Bu artan gemi trafiği içerisinde petrol tankerlerinin sayısı oldukça fazladır. Boğazdan geçen tankerlerin oluşturacakları kaza sonrasında yayılan petrolün çevresel ve ekolojik açıdan olumsuz etkileri olacaktır. Günümüzde kirlenen denizleri korumak oldukça önemlidir. Oluşabilecek herhangi bir kirlilik yaşıyan deniz canlılarının hayatını risk altına alarak ekolojik dengeleri de olumsuz yönde etkileyecektir. Ayrıca İstanbul Boğazı gibi doğal güzelliklere ve tarihi zenginliğe sahip olan bu su yolunun oluşabilecek bir petrol kirliliği sonrasında zarar göreceği açıktır.

İstanbul Boğazı ile ilgili bilimsel çalışmaların azlığı bilinmektedir. Artan gemi trafiğinde TBS için gemilerden kaynaklanan kirlilik ile ilgili yapılacak çalışmalar önem teşkil edecektir. Özellikle oluşabilecek kirlilikler sonrasında kirliliğin tespiti ve sonrasında en uygun ve hızlı müdahale planlarının yapılması oluşacak kirliliği en aza indirecektir.

Yapılan bu çalışma sonucunda, tespit edilen risk bölgelerinde hızlı müdahale yapılabilmesi için petrol kirliliği ile ilgili acil müdahale istasyonlarının kurulması kirliliğin önlenmesi için faydalı olacaktır. Değişen rüzgar yön ve şiddetlerin de yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda; özellikle Anadolukavağı, Tarabya, Çengelköy ve Sarayburnu kıyılarında kontrol edilebilecek küçük hareketli acil müdahale istasyonları uygun olacaktır. Bu müdahale istasyonlarının en büyük faydası kaza sonrasında yayılımın ilk anlarında kontrol altına alınarak ilerleyen zamanda ana müdahale istasyonlarının destekleri ile petrolün tam kontrol altına alınması sağlayabilecektir. Böylelikle mücadele en az kirlilik ile sonuçlandırılabilir.

İstanbul Boğazı'nda VTS (Vessel Traffic System) 2003 yılında kurulmuştur. Boğaz'daki akıntı değişikliklerini ölçen sensörler vasıtası ile değişen çevresel parametreleri, anlık okuyan ve bunları değerlendiren sistemler kurulup VTS merkezinde bu bilgiler değerlendirmelidir. Değerlendirilen bu çevresel etkiler sonucunda yapılan bu çalışmadaki simülasyon çalışması çalıştırılarak petrolün zamansal ve alansal dağılımı tespit edilebilir. VTS merkezinde yapılacak olan simülasyon sonucunda Boğaz'dan geçen gemiler olası bir kazada bağlantı kurulup; gemi trafiğinin olması gerektiği şekilde

yönlendirilmesi sağlanabilecektir. Bununla birlikte dağılan petrol daha rahat gözlenebilecek ve müdahale de hızlı olabilecektir.

İstanbul Boğazı için yapılan bu çalışma sonrasında TBS içinde yapılacak olan benzer çalışmalarla oluşabilecek kazalar sonrasında petrol dağılımı simüle edilmiş olacaktır. Bununla birlikte TBS kullanan tankerlerin bir bölümünün çıkış yolu olan Kerç Boğazı'nda petrol dağılım modellerini uygulanması riskli bölgelerin korunması amacı ile faydalı olacağı bir gerçektir.

Günümüzde artan Kimyasal Tankerler birbirinden farklı kimyasal yükleri taşımaktadırlar. Kimyasal bir tankerin kaza yapması veya iki farklı kimyasal yük taşıyan tankerin kazası sonucunda deniz ortamına yayılan kimyasal ürünler reaksiyonlara girerek çeşitli riskler doğurabilecektir. Yapılacak olan çalışmalarla farklı kimyasal yükleri taşıyan tankerlerin kazaları sonrasındaki dağılım ve reaksiyon simülasyonlarının İstanbul Boğazı için yapılması faydalı olacaktır.

Yapılan bu çalışmanın bir sonraki adımı olarak dağılan petrolün çökme, buharlaşma ve yanma yoluyla kaybolma miktarlarını tespit eden bir simülasyon çalışması yapılarak yapılmış olan simülasyonun peşinden çalıştırılması kirliliğin çevresel etkilerinin belirlenmesinde yararlı olacaktır. Bu tip benzetim modelleri ile yapılan çalışmalar kirliliğin olduğu anda acil eylem planlarının hazırlanmasında yardımcı olacaktır.

7. KAYNAKLAR

- Akten, N., 2002. The Bosphorus: Factors Contributing to Marine Casualties, Turkish Journal Marine Sciences, Vol. 8- 3, 179-195.
- Akyarlı, A. ve Arısoy, Y., 1994. Oceanographic Measurements for the Tube Crossing of the Bosphorus, 4th International Offshore and Polar Engineering Conference, Osaka, Japan, 47-50.
- Anonim, 1966. Zu Fusz über den Bosporus, Hamburg, Germany, Volume 15, No 12, 89-90.
- Anonim, 1995. Türk Boğazları Gemi Geçiş Yıllık İstatistikleri, Denizcilik Müsteşarlığı, İstanbul Bölge Müdürlüğü Trafik Düzen Başkanlığı Yıllık İstatistik Verileri, İstanbul, 4.
- Anonim, 2001. Türk Boğazları Gemi Trafik Yönetim ve Bilgi Sistemi Projesi, Denizcilik Müsteşarlığı Yayınları, Ankara, 55.
- Anonim, 2002. Gemi Eksoz Gazları Ölçümleri, TC Başbakanlık Denizcilik Müsteşarlığı Yayınları, Ankara, 2.
- Anonim, 2003. Türk Boğazları Gemi Geçiş Yıllık İstatistikleri, T.C. Başbakanlık Denizcilik Müsteşarlığı, Deniz Ulaştırması Genel Müdürlüğü, DNM/0.06.02.SGD-5. 2805, Ankara, 12.
- Anonymous, 1978. MARPOL 73/78, 2002. The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, Consolidated Edition, London, 511.
- Anonymous, 1999a. INF. 10, Preparation of a new report covering all aspects of safety and enviromental protection, including the review of the IMO Rules and Recommendations on Navigation Through the Strait of İstanbul, Strait of Çanakkale and Sea of Marmara, IMO 71st session Agenda item 22, 5.
- Anonymous, 1999b. NF. 11, Preparation of a New report covering all aspects of safety and enviromental protection, including the review of the IMO Rules and Recommendations on Navigation Through the Strait of İstanbul, Strait of Çanakkale and Sea of Marmara, IMO 71st session Agenda item 22, 3.
- Anonymous, 2001a. User's Manual, General NOAA Oil Modeling Environment, NOAA HAZMAT U.S. Coast Guard National, 77.
- Anonymous, 2001b. User's Guide and Examples, General NOAA Oil Modeling Environment, NOAA HAZMAT U.S. Coast Guard National, 21.
- Aroğuz, A.Z., 1996. Denizde Petrol Kirliliği ve Önlenmesi, Ders Notları, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 45.

- Başar, E. ve Köse, E., 2003. Risk Assessment of Oil Tanker Unloading Point in the South-Eastern Black Sea-Trabzon Station, Proceedings of the Six the International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 03, 07-11 October 2003, Ravenna-Italy, Volume 3, 1127-1136.
- Baydar, M., 1994. İstanbul Boğazı ve Yakın Çevresinin İklim Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul. 91.
- Biblo, M., 2001. Oil Transport in the Turkish Straits, Proceedings of the International Symposim on the Problems of Regional Seas, 01 May, Volume 1, İstanbul Turkey. 95-98.
- Blumberg, A.F. ve Mellor, G.L., 1983. Diagonastic and Prognostic Numerical Circulation Studies of the South Atlantic Bight, Journal Geophys. Resarch, 88, 4579-4592.
- B.M.C., 1987. An Assessment of Navigational Risk in Present and Potential VTS Zones in Canada, Bureau of Management Consulting, Report, Canadian Coast Guard, Ontario, Canada, 175.
- Caspers, H., 1968. La Macrofauna Bentique du Bosphore et les Problemsde L'infiltrationdes elements mediterraneens dans la Mer Noire, Papp. Comm. Int. Mer Medit., 107-115.
- Carruthers, J.N., 1963. The Bosphorus Undercurrent Some Bed Measurements, Nature, V. 201, 363-365.
- Cerit, A.G., 2002. Deniz Güvenlik Yönetimi ve Türk Boğazları, Deniz Ticareti Dergisi, 14, 10-15.
- Clark, R.B., 1997. Marine Pollution, Clerandon Oxford Press, Forth Edition, London, 161.
- Degens, E.T. ve Ross, D.A., 1974. The Black Sea Geology, Chemistry And Biology, Published by The American Association of Petroleum Geologists. First Edition, Tulsa Oklahoma, USA, 245.
- Dyeulgerov, M., 1999. Navigating the Bosphorus and the Dardanelles: Atest for the International Community, The International Journal of Marine and Coastal Law, 14, 64.
- Erinç, S., 1977. İstanbul Boğazı ve Çevresi, Coğrafya Dergisi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Sayı 20, 42-48.
- Erinç, S., 1987. Türkiye Denizleri, Ders Notları, İstanbul Üniversitesi, İstanbul Üniversitesi Matbaası, 104.

- Erol, A., 1993. Gemi Kullanma Kuramsal ve Temel Bilgiler, Birinci Baskı, Güray Matbaacılık, İstanbul, 206.
- Evens, J.,R. ve Olson, D.,L., 2002. Simulation and Risk Analysis, Upper Saddle River, Second Edition, New Jersey, 392.
- Göktepe, G.B., 2002. The Black Sea One Decade After the Bucharest Convention an overview of The International Activities in The Black Sea Region, Turkish Journal Marine Sciences, Vol. 8-1, 41-64.
- Güler, N. ve Poyraz, Ö., 1997. İstanbul Boğazı'nda Deniz Trafiği ve Seyir Güvenliği, Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları I. Ulusal Konferansı, 24-27 Haziran 1997, Ankara, Türkiye Kıyıları 97 Konferansı Bildiriler Kitabı, 533-542.
- Günneron, C.G. ve Özturgut, E., 1974. The Black Sea Geology, Chemistry And Biology The American Association of Petroleum Geologists, No 20, 99-103.
- Güven, K.C., Unlu, S., Okus E., Dogan, E., Eroglu, V., Sarikaya, H. ve Ozturk, I., 1998. The Oil and Anionic Surfactant Pollutions in Seawater of Turkish Straits in 1995-1997, The Proceedings of the First International Symposium on Fisheries and Ecology, 2-4 September 1998, Trabzon Turkey, Volume I, 403-409.
- Güven, K.C., 2002. The Problem of Petroleum Transport In Turkish Straits, The Proceedings of The Symposium on the Straits Used for International Navigation, Nov., İstanbul Turkey, 147-156.
- Hoffmann, K.A., 1989. Computational Fluid Dynamics for Engineers, Engineering Education System™, Texas, USA, 566.
- IMO. 1998a. Guideline for the Control and Management of Ships Ballast Water to Minimize the Transfer of Harmful Aquatic Organisms and Pathogens. Resolation A. 868 (20), London, 29.
- IMO. 1998b. MEPC 42. sesion. Harmfull Effects of the Use of Anti-Fouling Paints for Ships, IMO, London, 14.
- İstikbal, C., 2001. Regional Transport Demands and The Safety of Navigation in The Turkish Straits: A Balance at Risk, Proceedings of the International Symposim on the Problems of Regional Seas, İstanbul Turkey. 86-94.
- İstikbal, C., 2002. Safety of Navigation in Narrow Straits, The Proceedings of The Symposium on the Straits Used for International Navigation, Nov., İstanbul Turkey, 102-115.
- Kıdeys, A.E. ve Niermann, U., 1994. Occurrence of Mnemiopsis alng the Turkish cost (from norteastern Mediterranean to İstanbul). ICES Journal Marine Sciences, Volume 51, 423-427.

- Kofead, H. ve Mikelsen, A. C., 1997. Wake wash from fast ferries in Denmark. Proceedings of the Fourth International Conference on Fast Sea Transportation, Baird Publications, Sydney, 471-478.
- Latif, M.A., Özsoy, E., Oğuz, T. ve Ünlüata, Ü., 1991. Observations of the Mediterranean Inflow into the Black Sea., Deep Sea Research, 38, Suppl. 2, 711-723.
- Leopold, L.B., 1960. Rivers, American Scientist Journal, Volume 50, 511-537.
- Mellor, G.L., 1973. Analytic Prediction of the Properties of Stratified Planetary Surface Layers, Journal Atmosphere Sciences, 30, 1061-1069.
- Mellor, G.L. ve Yamada, T., 1974. A Hierarchy of Turbulance Closure Models, AIAA Journal, 11, 590-599.
- Mellor, G.L. ve Blumberg, A. F., 1985. Modeling Vertical and Horizontal Diffusivities with the Sigma Coordinate System, Mon. Weather Rev., 113, 1380-1383
- Mellor, G.L., 1996. User's Guide for AThree, Dimensional, Primitive Equation, Numerical Ocean Model, Princeton University Rep., Princeton University, Princeton, NJ, 40.
- Mellor, G.L., Oey, L. ve Ezer, T., 1998. Sigma Coordinate Pressure Gradient Errors and the Seamount Problem, Journal Atmosfer and Oceanic Tech., 15, 1122-1131.
- Mengül, S., 1950. Oceanography, Ulaştırma Bakanlığı, Yüksek Denizcilik Okulu, İstanbul, Seri 4, Sıra 22, 142.
- Möller, L., 1928. Alfred Merz' Hydrographische Untersuchungen im Bosphorus und Dardanellen, Berlin Veröffentlichungen Inst. Meereskunde an der Universität Berlin, Neue Folge A, Heft 18.
- Oey, L.T., Mellor, G.L. ve Hires, R.I., 1985a. A Three-Dimensional Simulation of the Hudson-Raritan Estuary, Part I: Description of the Model and Model Simulations, Journal Phys. Oceanography, 15, 1676-1692.
- Oey, L.T., Mellor, G.L. ve Hires, R.I., 1985b. A Three-Dimensional Simulation of the Hudson-Raritan Estuary, Part II: Comparison with Observation, Journal Phys. Oceanography, 15, 1693-1709.
- Oğuzülgen, S., 1995. Türk Boğazları Bölgesi'nde Deniz Trafiğinin Kontrolü ve Gerekli Yaptırım Düzenlemeleri, Boğazlardan Geçiş Güvenliği ve Montreux Sözleşmesi Semineri, İstanbul Üniversitesi Doktora Salonu, İstanbul, 12.
- Or, İ., Sevilir, M. ve Erkut, E., 1999. An Investigation of Naval Accident Probabilities and Causes in the İstanbul Channel, The Journal of Management Sciences and Regional Development, V1, No:2, 165-179.

- Örs, H., 1997. A Contaminant Transport Model For The Bosphorus Strait, Journal Environ. Sci. Health, A32 (3), 699-714.
- Otay, E., N ve Yenigün, O., 2003. An Oil Spill in the Bosphorus: The Gotia Accident, Third International Conference Oil Spills Oil Pollution and Remediation, 16-18 September 2003, İstanbul, 27-41.
- Özen, S., Koldemir, B. ve Azaklı, B., 1998. Boğazlar Kapasitesinin Tahmin Yöntemi, Denizati Dergisi, Yıl 12, Sayı 12, 30-34.
- Öztürk, B. ve Öztürk, A.A., 1996. Biology of Turkish Strait Systems, Turkish Marine Research Foundation, İstanbul, 241.
- Öztürk, B. ve Öztürk, A.A., 2000. Marine Biodiversity and Ship Originated Pollution in the Turkish Strait System (TSS), Oil Spills in the Mediterranean and Black Sea Regions, Second International Conference, 01 October 2000, İstanbul Turkey, 203-212.
- Öztürk, B., Öztürk, A.A. ve Algan, N., 2001. Ship Originated Pollution In The Turkish Straits System, Problems of Regional Seas 2001, Proceedings of the International Symposium on the Problems of Regional Seas, İstanbul Turkey, 86-94.
- Öztürk, A.A., Karakulak, S. ve Öztürk, B., 2002. The Proceedings of The Symposium on the Straits Used for International Navigation, November, İstanbul Turkey, 174-184.
- Plant, G., 2000. The Turkish Straits and Tanker Traffic: An Update, Marine Policy, V 24, 193-214.
- Polikarpov, G.G., Zaitsev, YU, P., Zats, V.I. ve Radchenko, L.A., 1994. Pollution of the Black Sea (Levels and sources), In Proceeding of the Black Sea Symposium, Published by the Black Sea Foundation, İstanbul, 15-42.
- Poyraz, Ö., 1998. Gemi Kazalarından Doğan Krizlerin Kıyısız Yönetimi ve Türk Boğazları Bölgesine Uygulanması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 157.
- Readman, J.W., Fillmann, G., Tolosa, I., Bartocci, J., Villeneuve, J.P., Catinni, C. ve Mee, L.D., 2002. Petroleum and PAH Contamination of the Black Sea, Marine Pollution Bulletin, 44, 48-62.
- SHOD, 1990. İstanbul Boğazı Akıntı Profilleri, Deniz Kuvvetleri Komutanlığı Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı Yayınları, İstanbul.
- SHOD, 1994. Denizcilere İlanlar, Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, Seyir Hidrografi ve Oşinografi Yayınları, İstanbul, 24.

- SHOD, 1997. 2921-A Nolu Deniz Haritası, Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, Seyir Hidrografi ve Oşinografi Yayınları, İstanbul.
- SHOD, 1998. İstanbul Boğazı, Marmara Denizi ve Çanakkale Boğazı Seyir Rehberi, Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, Seyir Hidrografi ve Oşinografi Yayınları, İstanbul, 23.
- SHOD, 1999. 2921-B Nolu Deniz Haritası, Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, Seyir Hidrografi ve Oşinografi Yayınları, İstanbul.
- SHOD, 2000. 2927 Nolu Deniz Haritası, Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, Seyir Hidrografi ve Oşinografi Yayınları, İstanbul.
- SHOD, 2003. INT 3756 Nolu Deniz Haritası, Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, Seyir Hidrografi ve Oşinografi Yayınları, İstanbul.
- Sorokin, Y.I., 1983. The Black Sea In Estuaries and Enclosed Seas (Ecosystem of the World 26), Elsevier Published, Amsterdam, 253-292.
- Talımlı, İ., Kısakürek, B. ve Pilatin M.,K., 1999. Environmental Risk Assessment of Hazardous Materials, MEDCOAST 99 – EMECS 99 Joint Conference, Land-Ocean Interactions: Managing Coastal Ecosystems, 9-13 November 1999, Antalya, 563-573.
- The Admiralty, 1990. Hydrographic Department (1948, 1955, 1990), Black Sea Pilot, HMSO, London, 458.
- Türker, A., 1996. Akdeniz Suyunun İstanbul Boğazı Boyunca ve Güneybatı Karadeniz’de İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul, 137.
- Ulliyott, P. ve Ilgaz, O., 1946. The Hidrography of the Bosphorus: An Introduction, Geog. Rev. V. 36, No 1, 44-60.
- URL-1, www.imo.org/ International Maritime Organisation (IMO), Maritime Enviroment Protect Commite, Ship Documents, Ballast Water Manegemet Record Book, 12 May 2003.
- URL-2, www.turkishpilots.org.tr/ Türk Kılavuz Kaptanlar Derneği, Türk Boğazları Gemi Geçiş İstatistik Verileri, İstanbul Boğazı’ndan Geçen Petrol Tankerleri, 10 Nisan 2003.
- URL-3, www.turkishpilots.org.tr/ Türk Kılavuz Kaptanlar Derneği, Türk Boğazları Gemi Geçiş İstatistik Verileri, İstanbul Boğazı’ndan Geçen Gemiler ve Raporlama, 10 Nisan 2003.
- URL-4, www.turkishpilots.org.tr/ Türk Kılavuz Kaptanlar Derneği, Türk Boğazları Gemi Geçiş İstatistik Verileri, Gemi Kaza Alanları, 10 Nisan 2003.

- Ünal, E., Shmeleya, A., Zagorodnyaya, A. ve Kıdeys, A., 2000. Zooplankton Structure and Copepod Species of the Sea of Marmara in Spring, 257.
- Yeniçeri, D.N., 1994. İstanbul Boğazının Rüzgar Yapısı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul, 75.
- Yüce, H., 1986. Seviye Değişimleri, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü Bülteni, Cilt 2, Sayı 3, İstanbul. 69-70.
- Yüce, H. ve Türker, A., 1991. Marmara Denizi'nin Oşinografik Özellikleri ve Akdeniz Suyunun Karadeniz'e Girişi, Uluslararası Çevre Sorunları Tebliği, İstanbul Marmara Rotary Kulübü, İstanbul, 284-303.



ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Ankara’da doğdu. İlk öğrenimine Ankara’da başladı ve yurdun bazı illerinde devam ederek Afyon’da tamamladı. Orta öğrenimine ise Ankara Yenimahalle Endüstri Meslek Lisesi Elektronik Bölümü’nü kazanarak başladı ve 1988 yılında Elektronik Teknisyeni ünvanı ile mezun oldu. 1989 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği Bölümünde lisans eğitime başladı. 1993 yılında bu Üniversitenin Deniz Bilimleri Fakültesi’nden Balıkçılık Teknolojisi Mühendisi ünvanı ile mezun oldu. Aynı yıl içerisinde KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği ABD yüksek lisans programına başladı. 1996 yılında “Sürmene Koyu’ndaki Bazı Teleost Balıkların Pelajik Yumurta ve Larvalarının Mevsimsel Dağılımı” adlı yüksek lisans tezini vererek Balıkçılık Teknolojisi Yüksek Mühendisi ünvanıyla mezun oldu. Aynı yıl içerisinde KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği ABD’de doktora programına başladı. Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından yurt içi ve dışında düzenlenen başta “Training of Incturactor”, “STCW”, “Quality Management” gibi eğitim programlarına katıldı. KTÜ ve Diğer bilimsel kuruluşlar tarafından desteklenen projelerde görev aldı.

1994-1996 yılları arasında KTÜ Deniz Bilimleri Fakültesi Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. 1996-1999 yılları arasında ticaret gemilerinde 4 üncü, 3 üncü, ve 2 inci Kaptanlık yaptı. 1999 yılında KTÜ Deniz Bilimleri Fakültesi Güverte Bölümünde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaya başladığı görevini halen sürdürmektedir.